



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación nutricional de la glicerina cruda proveniente del biodiesel de aceite de palma en cerdos

Ciro Alberto Ordoñez Gómez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Ciencias para la

Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2014

Evaluación nutricional de la glicerina cruda proveniente del biodiesel de aceite de palma en cerdos

Ciro Alberto Ordoñez Gómez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Producción Animal

Directora:

Ph.D. Claudia Janeth Ariza Nieto

Línea de Investigación:

Nutrición Animal

Grupo de Investigación:

Microbiología y Nutrición Animal del Trópico

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Ciencias para la

Producción Animal

Bogotá D.C., Colombia

2014



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA No. 166

☒ TESIS DE MAESTRIA ☐ TESIS DE DOCTORADO

FECHA: 13 / 06 / 2014 HORA: 09:00 a.m.
Día / mes / año

LUGAR: SALA VIDEOCONFERENCIA PROGRAMAS DE POSGRADO FMVZ

ESTUDIANTE: CIRO ALBERTO ORDOÑEZ GÓMEZ DNI. 5469773

TITULO DE TESIS: "EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE LA GLICERINA CRUDA PROVENIENTE DEL BIODIESEL DE ACEITE DE PALMA EN CERDOS"

PARA OPTAR AL TITULO DE: MAGISTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL

El Representante del Comité Asesor de Programas Curriculares de Posgrado declaró abierta la sesión y concedió la palabra a cada uno de los Miembros del Jurado, para oír los conceptos emitidos sobre la Tesis en mención. Una vez aprobada la Tesis de Grado en su parte escrita y presentada en SUSTENTACION PÚBLICA, se acordó:

CALIFICACIÓN: ☒ Aprobada ☐ Reprobada
MENCION SOLICITADA: ☒ Ninguna ☐ Meritoria ☐ Laureada

En constancia se firma la presente Acta por los que en ella intervinieron:

COORDINADOR Dra. DIANA MILENA OCHOA CARDONA Diana M. Ochoa
Representante Comité Asesor de Programas
Egresada de Posgrado Firma

JURADO Dr. ANDERSON CORASSA
Universidad Federal de Mato Grosso Firma

JURADO Dr. PEDRO E. URRIOLA 16/6/2014
Universidad de Minnesota Firma

JURADO Dr. ÁNGEL MARÍA GIRALDO MEJÍA
Universidad Nacional de Colombia Firma

DIRECTOR DE TESIS Dra. CLAUDIA JANETH ARIZA NIETO Firma

SECRETARIO DE FACULTAD Dr. NELSON JAVIER JURADO B. Firma



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA
SECRETARÍA DE FACULTAD

ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA No. 166

☒ TESIS DE MAESTRIA ☐ TESIS DE DOCTORADO

FECHA: 13 / 06 / 2014 HORA: 09:00 a.m.
Día / mes / año

LUGAR: SALA VIDEOCONFERENCIA PROGRAMAS DE POSGRADO FMVZ

ESTUDIANTE: CIRO ALBERTO ORDÓÑEZ GÓMEZ DNI: 5469773

TITULO DE TESIS: "EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE LA GLICERINA CRUDA PROVENIENTE DEL BIODIESEL DE ACEITE DE PALMA EN CERDOS"

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: MAGISTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL

El Representante del Comité Asesor de Programas Curriculares de Posgrado declaró abierta la sesión y concedió la palabra a cada uno de los Miembros del Jurado, para dar los conceptos emitidos sobre la Tesis en mención. Una vez aprobada la Tesis de Grado en su parte escrita y presentada en **SUSTENTACIÓN PÚBLICA**, se acordó:

CALIFICACIÓN: ☒ Aprobada ☐ Reprobada

MENCION SOLICITADA: ☒ Ninguna ☐ Meritoria ☐ Laureada

En constancia se firma la presente Acta por los que en ella intervinieron:

COORDINADOR Dra. DIANA MILENA OCHOA CARDONA *Diana M. Ochoa*
Representante Comité Asesor de Programas
Egresada de Posgrado *Firma*

JURADO	<u>Dr. ANDERSON CORASSA</u> Universidade Federal de Mato Grosso	_____ Firma
--------	--	----------------

JURADO Dr. PEDRO E. URRIOLA _____ Firma ✓

JURADO Dr. ÁNGEL MARÍA GIRALDO MEJÍA *Ángel Giraldo*
Universidad Nacional de Colombia *Firma*

DIRECTOR DE TESIS Dra. CLAUDIA JANETH ARIZA NIETO

SECRETARIO
DE FACULTAD Dr. NELSON JAVIER JURADO B.

Dedicatoria

A **Dios** a quien le debo todo.

A mi padre **Ciro Alfonso Ordoñez Yáñez (†)**, quien ha sido la motivación y la fuerza para continuar en la lucha en los momentos difíciles, su respaldo ha sido constante e irreprochable. Su ejemplo de honradez, disciplina, trabajo y amor son elementos esenciales en mi vida.

A mi madre **Alicia Gómez Soto**, por no dejarse derrumbar por las dificultades, con su esfuerzo me dio la oportunidad de ser lo que soy.

A doña **Haydee Torrado Sagra** por ver en mí un hijo más, al que le brinda su comprensión y apoyo, sin estos, esta empresa no hubiera llegado a feliz término.

A **Manuela Ordoñez Gomez**, mi sobrina quien ha sido elemento cohesionador y motivo de alegría para mi familia.

A mis hermanos quienes con su respaldo me han motivado a seguir adelante.

A mis amigos y compañeros quienes con su compañía me han alentado a continuar.

Agradecimientos

A la Dra. Claudia Janeth Ariza Nieto por los consejos y conocimientos compartidos en el desarrollo de mis estudios.

Al Dr. Germán Afanador Téllez por los aportes y sugerencias para el desarrollo de la tesis.

Al Msc. Gonzalo Mejía por la realización de la cirugía de implantación de las cánulas para la realización del experimento por la TBMN.

A Zoot. Ronald Ortiz, Zoot. Daniel Rodríguez, Msc. Yesid Avellaneda y Zoot. Edgar Mancipe estudiantes investigadores por su colaboración en el desarrollo de los ensayos.

A Msc. Andrea García, Lic. Doris Montañés, Ing. Alipio Loaiza y Arcadio Reina personal del laboratorio de nutrición y microbiología del Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) por su colaboración para el análisis de las muestras.

A Leonardo Téllez y Stela Rodríguez personal del área de avicultura del Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) por su colaboración en el desarrollo de los ensayos.

Al Zoot. Miguel Valcárcel profesional de apoyo y a todo el personal del área porcina del centro agropecuario “Marengo” por su apoyo en el desarrollo de la prueba de desempeño de la tesis.

A la Biol. Sandra Castañeda y todo el personal del laboratorio de calidad de alimentos del Centro de Investigaciones TIBAITATA de la Corporación Colombiana de Investigación

Agropecuaria (CORPOICA) por su colaboración para la realización de las pruebas de calidad.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), el Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB) y el laboratorio de nutrición y microbiología por prestarme sus instalaciones para el desarrollo de la tesis.

A la Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá por prestarme sus instalaciones en el centro agropecuario “Marengo” para el desarrollo de la prueba de desempeño de mi tesis y a los profesores por ser elementos esenciales en mi formación.

A Colciencias y a la empresa Bio D S.A por la cofinanciación para la realización de la tesis.

A todas las personas que colaboraron en la realización de la tesis pero mi memoria ingrata no recordó.

Resumen

La glicerina cruda (GC), subproducto del biodiesel despierta interés en la alimentación animal debido a su valor energético. Con el objetivo de evaluar nutricionalmente la GC proveniente de la industria del biodiesel de aceite de palma en cerdos se realizaron tres experimentos (Exp). En el exp. 1 se estimó la energía digestible (ED) de la GC con la técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN) utilizando ocho cerdos castrados con cánula duodenal. En el exp. 2 se determinó la ED, la EM de la GC y el metabolismo del nitrógeno por el método convencional con indicador (MCI) con 10 cerdos ubicados en jaulas metabólicas, y en el exp. 3 se evaluó la inclusión de GC en la dieta isoenergética e isoproteica de 36 cerdos en crecimiento. En los exp. 1 y 2 se evaluaron los mismos tratamientos en un arreglo factorial 2 x 5, consistentes en dos niveles de almidón (NA) 10 y 12%, y cinco niveles de sustitución con GC, 0; 2,5; 5,0; 7,5 y 10%, las dietas 10 y 12% de NA y 0% de GC se tomaron como las dietas bases. En el exp 3 en 36 cerdos alojados en 12 corrales, 3 cerdos por corral y 4 corrales por dieta, se evaluaron 3 niveles de inclusión de glicerina cruda (0, 5, 10%) en la dieta. El consumo de dieta fue a libertad. Durante el estudio, todas las semanas fueron pesados los cerdos y el alimento residual para calcular el consumo diario promedio (CDP) y la conversión alimenticia (IC). Al momento del sacrificio (100 kg de PV), un cerdo por corral fue seleccionado y sacrificado para determinar el peso de la carcasa (PC), la profundidad de la grasa dorsal (PGD), el área del ojo de lomo en la última costilla del lado derecho (AL) y el rendimiento de carne magra(RCM). Las muestras del lomo fueron cortadas en rodajas para determinar las características de calidad como color, pH, capacidad de retención de agua, perdidas por cocción y fuerza a la mordida (FM). Para la TBMN y el MCI los datos fueron sometidos a análisis de regresión lineal múltiple utilizando el modulo REG del paquete SAS (Ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC. 2009), determinando el valor de la ED y la energía metabolizable en el MCI, como la pendiente de la recta y los datos del metabolismo del nitrógeno en el MCI como un diseño de cuadrado latino teniendo en cuenta el cerdo, el periodo y la dieta en la estructura del diseño. Los datos del exp. 3 se analizaron en un

diseño de bloques completos al azar mediante los módulos GLIMMIX del paquete SAS (Ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC. 2009). La dieta experimental fue un efecto fijo y el bloque fue aleatorio. Por la TBMN no se observó efectos ($P>0,05$) de NA en la dieta sobre el valor de ED de la GC. El valor de ED de la GC se calculó en 3251 kcal/kg MS. El valor de ED de la GC en el MCI dependió de NA ($P<0,001$) estimándose en 4427,3 y 3769,3 Kcal/kg de MS para el 10 y 12% de NA, respectivamente. Se observó interacción ($P<0,001$) entre NA y GC para la cantidad de nitrógeno digestible que se redujo cuando la GC aumentó en 12% de NA y por el contrario un aumento en 10% de NA. Los demás parámetros del metabolismo nitrogenado no fueron afectados ($P>0,05$). Los resultados de ED corregidos por almidón con MCI mostraron correlación alta ($R^2= 0,82$) con los de la TBMN. En el exp. 3, el desempeño de los animales (GDP 848 ± 42 g; CDP 2361 ± 139 g; IC $2,79 \pm 0,2$ g/g), las características de calidad de la canal (PCC $82 \pm 8,5$ kg; RCM $37,2 \pm 7,5$ kg), la calidad de la carne (CRA $6,4 \pm 2,1$ mm²/mm²; FM $5,7 \pm 1,5$ kg) y los costos alimenticios de producción no fueron afectados ($P>0,05$) por la inclusión de GC en la dieta. Para el caso las pérdidas por cocción se observó incremento en con el aumento de la inclusión de GC en la dieta ($P<0,05$), 25,2; 30,7 y 29,9% para 0, 5 y 10% de GC, respectivamente. De acuerdo con estos resultados, con el método convencional se pudo establecer que el NA afecta el valor de ED de GC, resultados que estuvieron altamente relacionados con los obtenidos con la TBMN y la inclusión de GC en la dieta no afecta el desempeño de los animales, las características de calidad de la canal, de la carne y los costos alimenticios de producción.

Palabras clave: calidad de carne, desempeño productivo, energía digestible, glicerina cruda

Abstract

Crude glycerin (CG), co-product of biodiesel aroused growing interest in animal nutrition due to its energy value. In order to evaluate the energy value of CG in pigs, 3 experiments (exp) were performed. Exp 1, was conducted using the mobile nylon bag technique (MNBT) to calculate digestible energy (DE) value of the CG using 8 barrows fitted with duodenal T-cannulas. Exp 2, was conducted to determine the DE and ME of

CG and nitrogen metabolism by the conventional method with indicator (MCI), using 10 barrows that were placed in metabolic cages. Exp 3, evaluated the effect of the inclusion level of CG in isoproteic and isoenergetic diet, using 36 barrows during the growing-finishing period. Experiment 1 and 2 evaluated the effect of starch level on DE of CG derived from diets containing 2 starch levels (10 and 12%) and 5 crude glycerin levels (0, 2.5, 5.0, 7.5, 10%) in a 2 x 5 factorial arrangement, diet with 10 and 12% starch and with 0% CG were used as control diets. Data were analyzed by a multiple linear regression model and nitrogen metabolism data were analyzed in a Latin square design using PROC REG and GLM of SAS (Ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC. 2009). The slope of the regression line indicated the DE and ME for crude glycerin. In the Latin square, barrows, period and diet formed the design structure. Exp. 3 evaluated 3 levels of CG (0, 5, 10%) in the diet, 36 barrows were housed in 12 pens, 3 pigs/pen and 4 pens/diet. During the study, pigs in each pen were weighed weekly and feed residuals were used to calculate daily feed intake and feed conversion. At the time of slaughter (100 kg BW), one pig per replicate was selected and slaughtered to determine carcass weight (CW), backfat thickness (BF), loin eye area at the last rib on the right side (LA), and lean meat yield (LMY). Loin samples were cut into chops to determine quality attributes such as color, pH, cooking loss, water retention capacity (WRC), and shear force (SF). Data were analyzed using PROC GLIMMIX of SAS (Ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC. 2009) as a completely randomized block design, models include the diet as fixed effect and block as random effect. In Exp 1, results showed no interaction between the level of starch (SL) and the DE of CG ($P < 0.05$), the DE value was 3251 kcal/kg DM. In Exp 2, there was interaction between the level of starch and the DE of CG ($P < 0.001$), the values were 4427 and 3769 kcal/kg DM for 10 and 12%, respectively. There was an interaction between CG and SL ($P < 0.001$) which caused an increased in the amount of nitrogen digestible (AND) when CG increased by the 10% SL. However, the AND decreased when CG was increased by the 12% SL. The other parameters of nitrogen metabolism were not affected ($P > 0.05$). There was correlation of $R^2 = 0.82$ of the DE values measured by TBMN and MCI. In Exp. 3, results showed that CG inclusion did not affect ($P > 0.05$) growth performance (ADG 848 ± 42 g; ADFI 2361 ± 139 g; feed conversion 2.79 ± 0.2 g/g), carcass characteristics (CW 82 ± 8.5 kg; LWY 37.2 ± 7.5 kg), meat quality (WRC 6.4 ± 2.1 mm²/mm²; SF 5.7 ± 1.5 kg) and feeding cost. In case cooking loss observed increased with increasing CG inclusion in the diet ($P > 0.05$) 25.2, 30.7 y 29.9% for 0, 5 y 10% CG, respectively. It can be concluded that SL affects the DE value of CG, results

that were highly correlated with those obtained with MNBT and crude glycerin inclusion can be used up to 10%, without adversely affecting the performance of growing pigs.

Keywords: Crude glycerin, Digestible energy, performance, pork quality

Contenido

	Pág.
Resumen	XI
Lista de figuras.....	XVII
Lista de tablas	XVIII
Introducción	1
Bibliografía.....	3
1. Revisión de Literatura.....	5
1.1 Consideraciones generales sobre la producción de biodiesel y glicerina cruda..	5
1.2 La glicerina, digestión y metabolismo.....	5
1.3 Partición de la energía en cerdos	8
1.4 La técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN).....	12
1.5 Evaluación de la glicerina cruda en cerdos	15
Bibliografía.....	19
2. Valor de energía digestible de la glicerina cruda para cerdos en función del nivel de almidón de maíz en la dieta y la técnica de bolsa móvil de nailon (TBMN) y el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI)25	
2.1 Introducción.....	25
2.2 Materiales y métodos	26
2.2.1 Técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN)	28
2.2.2 Método convencional con indicador	31
2.2.3 Análisis estadísticos	33
2.3 Resultados y discusión.....	34
2.3.1 Determinación del valor de la EDA de la glicerina cruda por la TBMN	34
2.3.2 Efecto de la con inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre el uso del nitrógeno de la dieta en cerdos en crecimiento evaluado por el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI).....	37
2.3.3 Determinación del valor energético de la glicerina cruda por el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI)	39
2.4 Conclusiones.....	45
Bibliografía.....	46
3. Efecto de la glicerina cruda en la dieta de cerdos sobre los parámetros productivos, de la canal, de la carne y económicos.....	51

3.1	Introducción	51
3.2	Materiales y métodos	52
3.2.1	Descripción general.....	52
3.2.2	Características de la carne	55
3.2.3	Perfil de ácidos grasos intramusculares	55
3.2.4	Análisis económico.....	56
3.2.5	Análisis estadístico	57
3.3	Resultados y discusión	58
3.3.1	Parámetros productivos.....	58
3.3.2	Parámetros de calidad de la canal.....	59
3.3.3	Características de la carne	61
3.3.4	Perfil de ácidos grasos intramusculares	62
3.3.5	Análisis económico.....	64
3.4	Conclusiones	64
	Bibliografía	65
4.	Discusión general	69
4.1	Bibliografía.....	73
5.	Conclusiones y recomendaciones	79

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de palma	
Figura 1-2: Resumen del metabolismo del glicerol	
Figura 1-3: Esquema de partición de la energía en el animal	
Figura 2-1: Relación entre la tasa de inclusión de glicerina cruda en la dieta (Glicerina), la duración del tránsito (Horas) y el valor de ED corregida por el almidón de la dieta (ED).	
Figura 2-2. Relación entre el nivel de inclusión de glicerina cruda en la dieta y el valor de ED corregido por el almidón de la dieta	

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1: Composición de la glicerina cruda

Tabla 2-1: Composición de las dietas utilizadas como tratamientos en la TBMN y el MCI.

Tabla 2-2: Composición de la dieta base.

Tabla 2-3: Número de bolsas recuperadas por dieta experimental

Tabla 2-4: Composición de la glicerina cruda evaluada (Tal como ofrecido).

Tabla 2-5: Análisis de regresión múltiple de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón determinado por la TBMN.

Tabla 2-6: Análisis de regresión de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el tiempo de tránsito determinado por la TBMN.

Tabla 2-7: Efecto del nivel de almidón en la dieta y nivel de glicerina sobre el metabolismo proteico en cerdos.

Tabla 2-8: Efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda en la dieta sobre la EDA y la EMA de la dieta

Tabla 2-9: Resultados del análisis de regresión de la EDA de la dieta corregida por el contenido de ED del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el periodo determinado por el MCI.

Tabla 2-10: Resultados del análisis de regresión de la EMA de la dieta corregida por el contenido de EM del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el periodo determinado por el MCI.

Tabla 2-11: Valores promedios de EDA de la dieta determinado por la TBMN y el MCI

Tabla 2-12: Valores promedios de EDA de la dieta corregida por el nivel de almidón determinado por la TBMN y el MCI

Tabla 3-1: Composición de la glicerina cruda evaluada (Tal como ofrecido).

Tabla 3-2: Composición de las dietas experimentales en % de ingrediente

Tabla 3-3: Variables analizadas en la prueba de desempeño

Tabla 3-4: Desempeño productivo de cerdos alimentados con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Tabla 3-5: Características de calidad de la canal de cerdos alimentados con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Tabla 3-6: Calidad de la carne de cerdos alimentados con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Tabla 3-7: Perfil de ácidos grasos de cadena larga en la grasa intramuscular del lomo de cerdos alimentados con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Tabla 3-8: Análisis económico de la inclusión de glicerina cruda en la dieta de cerdos en crecimiento, durante un ciclo completo

Introducción

La crisis energética es palpable a nivel global y ha obligado a la búsqueda cotidiana de nuevas alternativas y al reposicionamiento en un lugar estratégico de aquellas que en el pasado no fueron tan interesantes (Hill *et al.*, 2006). Este es el caso de los biocombustibles que además de contrarrestar las deficiencias energéticas para la industria automotriz, ha ocasionado modificaciones y compensaciones en los sistemas de producción animal, un sector que se caracteriza también por su alta demanda energética (McMichael *et al.*, 2007). En este sentido, en los sistemas de alimentación animal se ha podido observar una disminución en la disponibilidad de los recursos alimenticios energéticos tradicionales como cereales, grasas y aceites vegetales, y por lo tanto han aumentado sus precios disminuyendo la productividad de sistemas industriales de producción animal como aves y cerdos. La reducción de la disponibilidad se debe al aumento de la demanda para la producción de biocombustibles: etanol, para el caso del maíz y biodiesel, para el caso de las grasas y los aceites vegetales.

La modificación en el uso de estos recursos alimenticios primarios ha tenido dos efectos principales en el costo de la carne y los huevos: primero, la búsqueda de recursos alimenticios alternativos más económicos que reemplacen las fuentes tradicionales y, segundo, ha generado en los procesos industriales sub y co-productos con volúmenes importantes de disponibilidad que obligan al desarrollo de estrategias integrales de uso de estos materiales que mitiguen los factores de tensión importantes relacionados con los efectos ambientales que se generan en la industria de biocombustibles (Hayes *et al.*, 2009), como es la inclusión de su uso en la industria de la alimentación animal.

El biodiesel puede ser producido a partir de aceites vegetales o grasas animales los cuales se mezclan con un alcohol, usualmente metanol y un catalizador (a menudo hidróxido de sodio) que causa que los triglicéridos se separen formando metil-esteres (biodiesel) y glicerina cruda. La glicerina cruda es el principal subproducto de la producción de biodiesel y ha sido propuesta como un potencial recurso energético para

ser utilizado en alimentación de cerdos (Lammers *et al.*, 2008a). Sin embargo, un factor clave para dar estatus a este recurso alternativo es determinar su valor nutritivo, el cual es influenciado por la fuente de recurso utilizado y por el proceso de manufactura del biodiesel. En general, la disponibilidad de la glicerina cruda y otros subproductos de la industria del biodiesel ha venido en crecimiento paralelo al crecimiento de la producción del biocombustible en el país y en el mundo (Hayes *et al.*, 2009).

En Colombia la situación no es muy diferente al contexto global, es así como la producción de biodiesel ha tenido un incremento desde las 22730 Tm producidas en el año 2008 hasta las 591.000 Tm de capacidad instalada de producción de biodiesel al año estimada para el año 2012, según la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia (2013), de acuerdo a estas cifras del país, hay capacidad instalada para producir 60700 Tm de glicerina cruda al año (Lammers *et al.*, 2008). El incremento en la producción de biodiesel en Colombia también ha sido estimulado por la política gubernamental lo que se concretó con la ley 939 de 2004 que estimula la producción y comercialización de biocombustibles para uso en motores diesel y el documento CONPES 3510 de 2008 en el que se fijaron lineamientos para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.

La determinación de digestibilidad por métodos convencionales requiere de una gran cantidad alimento, un número importante de animales y considerables gastos en equipos y mano de obra. El análisis de los residuos fecales suministra muy poca información sobre la degradación de componentes individuales del alimento debido al número de constituyentes de alimento que a menudo son necesarios para proveer una dieta nutricionalmente adecuada. Para la cuantificación del valor energético de ingredientes como la glicerina cruda en cerdos, una técnica que en la década pasada despertó gran interés por lo rápida y sencilla, es la técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN), que adquiere importancia para cumplir con el objetivo de cuantificación del valor nutricional de recursos alimenticios (Qiao y Thacker, 2004). De otra parte, la evaluación de la inclusión de la glicerina cruda en los programas comerciales de alimentación de cerdos no sólo debe determinar el efecto sobre los parámetros de desempeño de los animales, sino los valores agregados sobre la calidad del producto que permite ajustarse de manera objetiva a las condiciones actuales del mercado (Lammers *et al.*, 2008).

Teniendo en cuenta estos aspectos, las principales preguntas que se tratan de responder mediante varios experimentos en el presente estudio son como sigue: Capítulo 2: Cuál es el valor de energía digestible de la glicerina cruda en cerdos? Es posible aplicar la TBMN en la caracterización de recursos alimenticios energéticos como la glicerina cruda? Capítulo 3: Cuál es el impacto de diferentes niveles de glicerina cruda sobre el comportamiento de cerdos en la fase crecimiento- finalización? Cuáles son las características de calidad de la canal y de la carne producida por la inclusión de glicerina cruda? Cuál es la efectividad económica de vincular la glicerina cruda al sistema de alimentación de cerdos durante la fase crecimiento- finalización?

Bibliografía

Congreso de Colombia. 2004. Ley 939. Bogotá. Colombia.

Consejo Nacional de política económica y social. 2008. Documento CONPES 3510. Bogotá. Colombia.

Federación nacional de biocombustibles de Colombia. Cifras informativas del sector biocombustibles. Marzo de 2013. (On line) 30/03/2013 Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2841%29.pdf>

Hayes D, Babcock B, Fabiosa J, Tokgoz S, Elobeid A, Yu T, Dong F, Hart C, Thompson W, Meyer S, Chavez E y Pan S. 2009. "Biofuels: Potential Production Capacity, Effects on Grain and Livestock Sectors, and Implications for Food Prices and Consumers." Journal of Agricultural and Applied Economics; 41 (2) August: 465-491.

Hill J, Nelson E, Tilman D, Polasky S, Tiffany D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Proceeding of National Academic of Science of USA 103:11206–11210.

Lammers P, Kerr B, Weber T, Bregendahl K, Lonergan S, Prusa K, Ahn D, Stoffregen W, Dozier III W, Honeyman M. 2008. Growth performance, carcass characteristics, meat

quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *Journal of animal science* 86 (11):2962-2970.

Mc Michael AJ, Powles JW, Butler CD, Uauy R. 2007. Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet*; 370:1253–1263.

Qiao S, Thacker P. 2004. Use of the mobile nylon bag technique to determine the digestible energy content of traditional and non-traditional feeds for swine. *Archives of Animal Nutrition* 58 (4):287-294.

1.Revisión de Literatura

1.1 Consideraciones generales sobre la producción de biodiesel y glicerina cruda

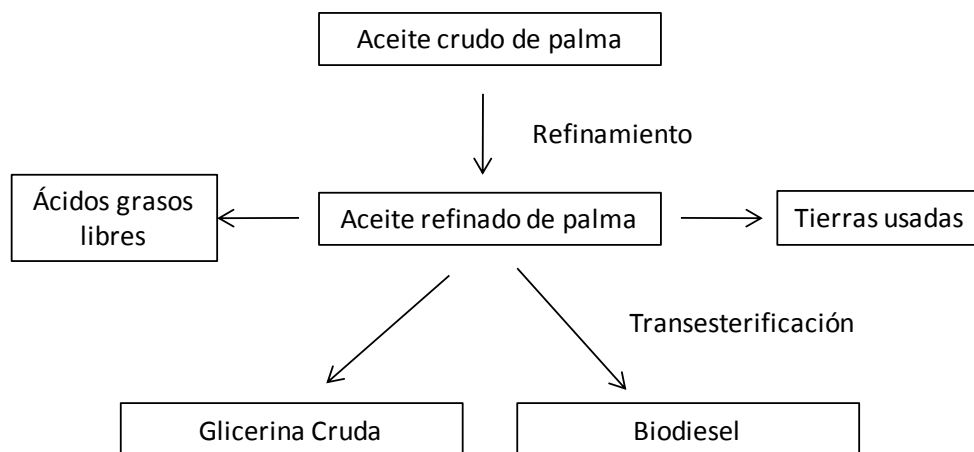
La energía en el escenario actual es un factor fundamental del crecimiento y desarrollo de los países. En la actualidad hay una alta dependencia energética por fuentes fósiles, no renovables (Stigka *et al.*, 2014). Por lo tanto es importante desarrollar fuentes alternativas de energía como el biodiesel, como una forma de ampliar y diversificar la oferta energética, en un contexto sostenible. El biodiesel es un mono-alquil ester de ácidos grasos proveniente de fuentes renovables como aceites vegetales y grasas animales cuyo subproducto es la glicerina cruda, con niveles de glicerol en el rango de 80-95% (Ramos, 2013).

En Colombia la capacidad instalada de producción de biodiesel se calculó en el año 2012, en 591.000 Tm al año, según la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia (2013), y desde el año 2009 la producción de este biocombustible ha aumentado (Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2013). Esta industria genera un subproducto con valor energético de interés para la alimentación animal, la glicerina cruda; es así como por cada litro de biodiesel producido se generan 79 g de glicerina cruda (Lammers *et al.*, 2008a), de acuerdo a esto, en el país hay capacidad instalada para producir 60.700 Tm de glicerina cruda al año con una densidad de 1,3 g/ml (80% de glicerol) (Berenchtein *et al.*, 2010). Un resumen del proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de palma crudo y la obtención de la glicerina cruda se puede observar en el figura 1-1.

1.2 La glicerina, digestión y metabolismo

En la reacción de transesterificación para la producción del biodiesel, el glicerol constituyente de los triglicéridos que conforman la grasa o el aceite es retirado al ser reemplazo por un alcohol, como puede ser metanol, etanol, propanol y butanol. El glicerol es recuperado por gravedad o centrifugación y el producto generado se

denomina glicerina cruda (Shields 2009), cuyo contenido de glicerol esta entre el 50 al 90% (Tabla 1-1).



Fuente: adaptado de Ramos, 2013.

Figura 1-1: Proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de palma

Químicamente, el glicerol o 1,2,3-triol propano es un compuesto orgánico perteneciente a la función alcohol, líquido a temperatura ambiente (25 °C), higroscópico, inoloro, viscoso y de sabor dulzón. Purificado es utilizado en la alimentación animal y humana (Berenchtein 2008), y por la industria cosmética y de medicamentos (Posada-Duque y Cardona-Alzate, 2010).

Tabla 1-1: Composición de la glicerina cruda

Característica	Calidad		
	Baja	Media	Alta
Humedad, %	5,0	9,6	4,1
Composición de la materia seca			
Glicerol, %	51,5	86,95	93,8
Metanol, %	15,0	0,03	0,04
Cenizas, %	4,2	3,2	1,9
Cloruro de sodio, %	0,1	3,1	0,2
Ácidos grasos, %	24,3	0,3	0,2
Potasio, %	N.D ¹	<0,005	N.D

¹N.D: No disponible

Fuente: adaptado de Lammers *et al.*, 2008a y Kerr *et al.*, 2009

La mayor parte del glicerol que es ingerido hace parte de los triglicéridos de la dieta. En la digestión intestinal de los lípidos a cargo de la lipasa pancreática se liberan pequeñas cantidades de glicerol (Bauer *et al.*, 2005). En forma natural el glicerol aparece en bajas cantidades en la célula ($<0,1$ mmol/L) (Shields, 2009). El glicerol se absorbe en forma pasiva en la sangre mesentérica y de aquí pasa al sistema sanguíneo porta. El glicerol en la célula de la mucosa intestinal puede ser un precursor para la resíntesis de triglicéridos (Church *et al.*, 2004).

El glicerol sanguíneo es tomado por las células a través de las aquagliceroporinas por gradiente osmótico o de concentración. En el citoplasma celular, el glicerol es activado a glicerol 3-fosfato el cual no puede atravesar la membrana celular quedando retenido en la célula (Della Casa *et al.*, 2009). El metabolismo del glicerol está regulado principalmente por la enzima glicerol quinasa en hígado y riñón, que esta involucrada en la fosforilación del glicerol a glicerol 3 fosfato (glicerol 3P). La glicerol quinasa utiliza como fuentes de energía ATP mayoritariamente, UDP y CTP. El ADP inhibe la glicerol quinasa, mientras que el ATP y el glicerol la activan. Otra enzima importante en el metabolismo del glicerol es la glicerol 3P oxidoreductasa, principalmente en músculo esquelético y, en menor cantidad, en hígado y riñón, produce glicerol 3P para la síntesis de triglicéridos y fosfolípidos, ayuda a mantener los niveles de NAD citosólico en la glicólisis anaeróbica y cataliza el paso de glicerol 3P a dihidroxiacetona fosfato (DHA).

Los corticoides son importantes en la acción de la glicerol 3P oxidoreductasa. Se ha observado que la eliminación de las glándulas adrenales o la hipófisis reduce la acción de la enzima y la aplicación de cortisol y hormona corticotropica, aumenta su funcionamiento (Shields, 2009).

La enzima glicerol 3P deshidrogenasa se encuentra en la membrana interna de la mitocondria de células de los testículos, pero también en músculos, pulmones, bazo, intestinos y cerebro de ratas. En el ser humano, en músculo esquelético, hígado, riñón, músculo cardíaco y liso. Ésta permite el paso de DHA a glicerol 3P en la gluconeogénesis. Las hormonas tiroideas activan la glicerol 3P deshidrogenasa. La remoción de la glándula adrenal aumenta la acción de la glicerol 3P deshidrogenasa, igual que dietas altas en glicerol, en hígado y riñón. En ratas, en clima frío, la glicerol 3P

deshidrogenasa aumenta la acción en tejido adiposo, mientras se aclimatan (Shields, 2009).

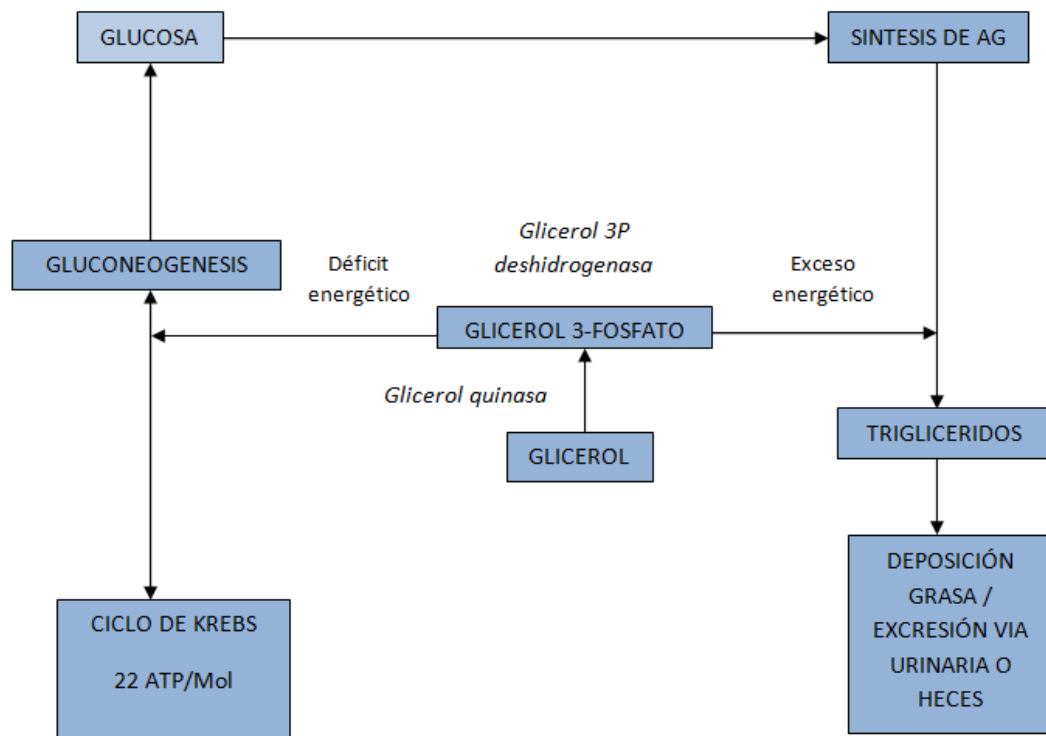
De tal forma que el glicerol 3P puede tomar la vía gluconeogénica o ser oxidado en la vía glicolítica con producción de 22 mol de ATP por cada mol de glicerol (Berenchtein, 2008). El glicerol, que a nivel celular no pueda ser activado a glicerol 3 P, saldrá de la célula y será eliminado vía urinaria reduciendo la eficiencia energética del glicerol, por limitaciones en la actividad enzimática de la glicerol quinasa (Della Casa *et al.*, 2009).

En ayuno, el glicerol sanguíneo aumenta; igualmente sucede cuando el cerdo es tratado con somatotropina porcina (Kyriazakis, 1999), esto es el resultado de un aumento en la lipólisis en tejido adiposo. Una evidencia del efecto del glicerol en la disponibilidad de glucosa pudo notarse en cerdas, donde la concentración de la lactosa en la leche se incrementó linealmente con la suplementación de glicerol (Schieck *et al.*, 2010a).

Una relación lineal positiva ha sido observada entre la expresión del gen de la glicerol quinasa y la inclusión de glicerol en la dieta de lechones; sin embargo, también se estimó una relación cuadrática de los niveles de glicerol sanguíneo y la inclusión de glicerol en la dieta, además se concluyó que el aumento en la expresión de la enzima no es equivalente al de los niveles de glicerol sanguíneo, lo que permite inferir que parte de este glicerol no se metaboliza correctamente (Papadomichelakis *et al.*, 2010). Un resumen del metabolismo del glicerol en el animal se puede observar en la figura 1-1.

1.3 Partición de la energía en cerdos

El costo del alimento es el más importante rubro en la producción de carne de cerdo, siendo el componente energético el que mayor proporción tiene en el costo unitario del producto. En consecuencia, es importante estimar de una manera precisa el valor energético los recursos alimenticios, ya sea para propósitos de formulación al mínimo costo o para adaptar la oferta de alimentos a los requerimientos energéticos de los animales.



Fuente: Berenchtein, 2008

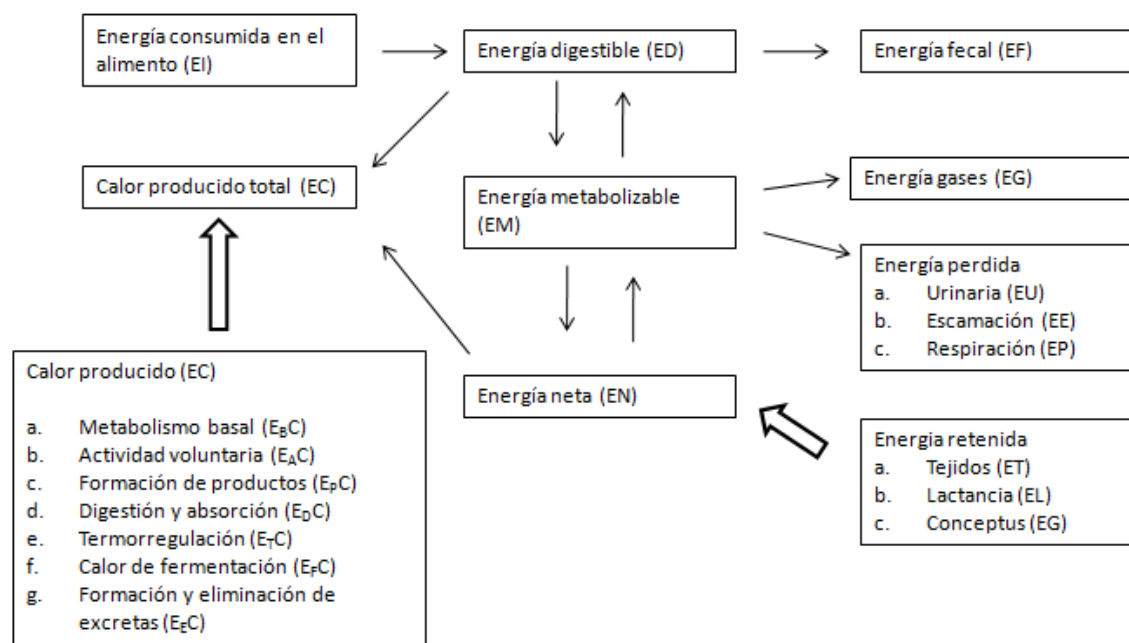
Figura1-2: Resumen del metabolismo del glicerol

La energía es entonces la base de los sistemas de alimentación, de ahí la importancia de su estudio de nutrición y alimentación animal. Una representación de la partición de la energía en su flujo en el animal se puede observar en la figura 1-2 (Kyriazakis y Whittemore, 2006).

La mayoría de sistemas de valoración energética inician con la energía ingerida en el alimento (EI), conocida también como la energía bruta ingerida; la energía digestible (ED) aparente es calculada con la sustracción de la energía fecal (EF) de EI. La ED aparente (EDA) se distingue de la energía digestible verdadera (EDV), que se calcula con la energía metabólica fecal (EFM) y el calor de fermentación (EFC). Al descontar la energía urinaria y de gases (principalmente metano) se obtiene la energía metabolizable (EM) ya que se asume que las pérdidas energéticas en la orina son el resultado del metabolismo.

La energía metabolizable verdadera (EMV) es la disponible para el metabolismo y se obtiene al descontar las pérdidas urinarias endógenas (EUE). El efecto de la síntesis y la

degradación de proteína en las pérdidas de EUE, se corrige al ajustar la retención de nitrógeno a cero y se conoce como la EM corregida por nitrógeno (EMn).



Fuente: Modificado Kyriazakis y Whittemore, 2006

Figura 1-3: Esquema de partición de la energía en el animal

En sistemas netos, la EM se pierde como la energía del calor producido (EC) o es retenida como la energía de algunos productos (ER), como la energía de lactancia (EL) o la energía del tejido corporal (ET). Para su cálculo, es necesario determinar la EC o de la ER. En animales en crecimiento, la energía es retenida como ET y mientras que en lactantes la energía de la leche producida debe ser medida también (Kyriazakis y Whittemore, 2006). Los cerdos en crecimiento raramente retienen más del 50% de la energía bruta suministrada. Aunque la mayoría de dietas presentan digestibilidades entre el 80 y el 90%. Las pérdidas en gases (EG) se han estimado en 0,16 Kcal/g de pared celular fermentada para cerdos en crecimiento y en 0,32 Kcal/g para cerdas adultas. Sin embargo, hay que tener precaución, debido a la carencia de datos experimentales. Los datos de la pared celular digestible se calculan como la diferencia de la materia orgánica digestible y la proteína, extracto etéreo, almidón y azúcares digestibles (Sakomura y Rostagno 2007).

En la práctica, la digestibilidad es la representación más frecuentemente utilizada de la degradación y absorción de nutrientes. Se trata de una estimación de la fracción alimenticia que al parecer absorbió el animal. Debido a que la absorción es un proceso muy complejo, el resultado es empírico más que mecánico. Sin embargo, determinar la digestibilidad es de suma importancia, ya que se considera el principal factor de variación del valor nutritivo de los recursos alimenticios y por tanto la digestibilidad es el principal método de evaluación de los alimentos. En el mismo sentido, la digestibilidad es generalmente utilizada en los ensayos de equilibrio digestivo y utilizado como referencia para modelos mecanicistas más complejos de determinación de los procesos digestivos (Noblet y Jaguelin-Peyraud, 2007). La determinación de la digestibilidad se realiza de varias formas entre las que se tiene la digestibilidad aparente, en la que no se determinan las pérdidas endógenas de nutrientes, la digestibilidad verdadera, que si contempla todas las pérdidas endógenas y la digestibilidad estandarizada si solo se sustraen las pérdidas endógenas basales; tener en cuenta las pérdidas endógenas es importante, especialmente para el caso de la proteína y los aminoácidos, por lo que ofrece una valoración más exacta de la digestión de un alimento (Parra y Gómez, 2009). Un sistema de energía determinado es la combinación de la utilización de la energía y el método de predicción. La utilización de la energía en procesos digestivos tiene una variación importante que está asociada con diferencias en la digestibilidad de los nutrientes constituyentes de la materia orgánica. Sin embargo, la mayor variación en los coeficientes de digestibilidad está relacionada con la presencia de fibra dietaria (la suma de polisacáridos no-amiláceos y lignina (<50% vs 80-100%)), los cuales reducen la digestibilidad fecal aparente de otros nutrientes como proteína cruda y grasa (Noblet y Perez, 1993). Adicionalmente, la utilización de este tipo de carbohidratos es variable de acuerdo a su origen botánico, variación que afecta a la energía digestible de los recursos alimenticios (Chabeauti, *et al.*, 1991)

Animales con cánula duodenal se utilizan en el método de evaluación de la digestibilidad total de los alimentos, conocido como la técnica de la bolsa móvil de nailon (MNBT por su siglas en inglés) que presenta ventajas sobre los métodos tradicionales ya que requiere menos infraestructura, menos animales, es más rápida en la obtención de los resultados y facilita la evaluación primaria de recursos alimenticios novedosos, reduciendo los riesgos de trastornos metabólicos. A continuación se revisará con detalle esta técnica

como la metodología con mayores ventajas a utilizar en la evaluación del valor energético de la glicerina cruda.

1.4 La técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN)

La técnica de bolsa para estudiar la digestibilidad de nutrientes en los recursos alimenticios de cerdos por administración vía oral en pequeñas bolsas de nailon fue descrita por Petry y Handlos (1978). Esta técnica no produjo resultados comparables con los estudios convencionales de digestibilidad y por ejemplo los valores de proteína fueron sobrestimados entre 0,7% a 16,9%, dependiendo de los recursos alimenticios, sugiriendo que habría una prolongada retención de las bolsas en el estómago (Petry y Handlos, 1978). Para superar estos aspectos a los cerdos les fue ajustada una cánula gástrica o duodenal para la inserción en el tracto digestivo de bolsas de nailon que contuvieron la muestra del recurso alimenticio en evaluación. Esta nueva técnica fue inicialmente desarrollada por Sauer et al. (1983) y consiste en realizar a la muestra una predigestión en pepsina y ácido clorhídrico en un beaker, las cuales han sido previamente empacadas en bolsas de nailon; esto para simular la digestión gástrica. Luego de la incubación, las bolsas son removidas del beaker y llevadas al interior del sistema digestivo del cerdo previamente canulado duodenalmente. El residuo hallado en la bolsa de nailon, luego de cursar por el tracto digestivo se utiliza para calcular la digestibilidad de los nutrientes de la muestra.

Los resultados iniciales del uso de la técnica de la bolsa móvil de nailon no predecían muy bien los resultados de digestibilidad *in vivo* cuando se utilizaba con mezclas de alimentos y con granos de cereales (Qiao y Thacker, 2004). En la década pasada el protocolo de la TBMN fue modificado con lo que se han obtenido resultados de digestibilidad muy similares a los obtenidos con las pruebas tradicionales de digestibilidad. Entre las modificaciones hechas al protocolo original, se propone la utilización de un arnés para la recolección de las heces, lo que reduce la pérdida y el daño de las bolsas. Los análisis químicos fueron realizados con cada bolsa y no de un pool de todas las bolsas de cada material, lo que aumenta el número de repeticiones y la precisión de la prueba. Finalmente, los análisis se realizaron a las bolsas completas sin abrirlas y sacar el material, lo que redujo el error propio del proceso de transferencia (Qiao y Thacker, 2004). Una pregunta fundamental fue si el uso de procedimientos

quirúrgicos para el estudio de la fisiología digestiva en cerdos afectaba el comportamiento del animal, pero no se observaron efectos de la canulación en el estado metabólico del cerdo evaluado como de su metabolismo energético (Close *et al.*, 1984).

Para que los resultados obtenidos con la TBMN sean satisfactorios es necesario una correcta recuperación de las bolsas en la heces, para realizar esta tarea se describen diversos métodos entre ellos, la utilización de jaulas metabólicas y ajustar la longitud de esta para inmovilizar al animal o la utilización de arneses. Un método que presenta ventajas es la utilización de un soporte en velcro adherido alrededor del ano del animal para sostener bolsas plásticas, donde se recolecten las heces con las bolsas de muestra (Van Kleef *et al.*, 1994). En el Encuentro nacional de investigadores de ciencias pecuarias (ENICIP) del año 2009 se reportaron trabajos con la TBMN en cerdos realizados por el grupo de CORPOICA y la Universidad Nacional (UN) sede Bogotá (Mestra *et al.*, 2009) y El grupo BIOGEM de la UN sede Medellín (Garnica *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2009), los cuales utiliza este soporte.

Entre otros factores que pueden afectar los resultados con la TBMN se ha evaluado el tamaño del poro de la bolsa (Graham *et al.*, 1985) observándose que menores a 10 μm reducen los valores determinados con la TBMN (Cherian *et al.*, 1988). Para el tamaño de la muestra se ha notado que 1 g (Cherian *et al.*, 1989) y 0,75 g (Yin *et al.*, 2002) reducen el valor de digestibilidad. En el caso del efecto del pretratamiento con pepsina se observó (189 a 377 UI de pepsina/litro) que aumenta la digestibilidad de algunos materiales (Cherian *et al.*, 1988); igualmente, duraciones de 4 horas aumenta la digestibilidad del material. Al evaluar el pH de la solución del pretratamiento, la digestibilidad obtenida se acerca más al resultado de la prueba *in vivo* con soluciones con pH de 2 (Cherian *et al.*, 1988). En cuanto el tamaño de la partícula se ha observado que las partículas obtenidas con la criba con poros de diámetro mayor (2 mm) tuvieron una menor digestibilidad (Cherian *et al.*, 1989), el mismo efecto se observó con cribas con poros de 1 mm (Yin *et al.*, 2002). Al evaluar las dimensiones de la bolsa (25 x 40 mm ó 20 x 50 mm), pero manteniendo igual el área de la bolsa no se evidenciaron efectos sobre los valores de digestibilidad (Cherian *et al.*, 1989). La variación en la dieta basal no ha mostrado efectos (De Lange *et al.*, 1991). No realizar el lavado de las bolsas reduce el valor de digestibilidad y hacerlo por más de 4 min conduce a una sobrevaloración (Yin *et al.*,

2002). El número de bolsas por material a evaluar varía desde 4 (De Lange *et al.*, 1991) a 8 (Mestra *et al.*, 2009) o 10 introduciendo 8 cada día por cerdo, 4 en la mañana y 4 en la tarde (Qiao y Thacker, 2004).

La revisión de los diferentes estudios que comparan la TBMN con los métodos tradicionales de determinación de digestibilidad muestran que la digestibilidad de la materia orgánica y de la proteína cruda fue más alta que la observada en la digestibilidad aparente *in vivo* (Graham *et al.*, 1985); sin embargo, en otro trabajo los resultados con la TBMN se acercaron a los obtenidos con los métodos tradicionales de determinación de la digestibilidad (Cherian *et al.*, 1988). Para el caso de la digestibilidad de la energía de cereales como: cebada, trigo, avena y maíz, los valores fueron más bajos con la técnica TBMN comparada con el bioensayo tradicional, promedio de 69,7 y 81%, respectivamente, relación que fue constante para los cuatro cereales evaluados; además, se estimaron diferencias entre la digestibilidad de la proteína (De Lange *et al.*, 1991). Otro estudio mostró diferencias entre los métodos para el maíz, la cebada, el trigo, la mogolla y una dieta completa (4,3% de fibra cruda (FC)), siendo más bajos los valores con la TBMN que con el método tradicional y no se observaron diferencias entre los métodos para el salvado de arroz, la torta de soya, una mezcla de torta de soya y cascarilla, la torta de coco, la haba, la arveja, la harina de carne y una dieta completa (13,6% de FC). Por análisis de regresión simple se determinó una correlación de 0,925 entre los dos métodos y se mejoró a 0,949 si se incluía el extracto libre de nitrógeno o la fibra cruda como una segunda variable (Sauer *et al.*, 1989).

La TBMN no mostró diferencias con la técnica de anastomosis íleo-rectal (IRA) para la determinación de la digestibilidad de aminoácidos (Viljoen *et al.*, 1997). Al comparar la TBMN con la técnica del contenido total ileal (TIC) no se observaron tampoco diferencias para la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos (AID) de la harina de pescado y de la leche en polvo. Para el maíz y el grano de soya extruido fue más alta para la TBMN (Viljoen *et al.*, 1998). Los valores más cercanos entre la TBMN y la metodología convencional para determinar la digestibilidad ileal de aminoácidos se alcanzó utilizando 0,75 g de muestra, moliendo la muestra con una criba de 1 mm y lavando las bolsas por 2 minutos (Yin *et al.*, 2002). En general, al tomar los valores de referencia del valor energético y comparándolos con los determinados con la TBMN se pudo concluir que la

TBMN presenta un gran potencial como metodología para la determinación rápida del valor energético de recursos alimenticios convencionales y no-convencionales disponibles para la nutrición y alimentación de los cerdos (Qiao y Thacker, 2004).

1.5 Evaluación de la glicerina cruda en cerdos

En Colombia, con el proceso de expansión de la producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma africana, se ha estado trabajando en el tema de la glicerina cruda como alimento energético en la producción animal. En este sentido, CORPOICA ha venido adelantando un megaproyecto para evaluar este recurso en sistemas de alimentación animal. En pollos de engorde, teniendo como indicadores la ganancia de peso corporal y la conversión de alimento, concluyen que el nivel óptimo de inclusión debe estar cercano al 4% (Avellaneda *et al.*, 2009). Este mismo grupo utilizando la técnica de la bolsa móvil de nailon determino el valor energético de la glicerina cruda, encontrando valores de energía digestible de 3311 Kcal/kg y coeficiente de digestibilidad de la energía de la glicerina cruda evaluada de 97,4% (Mestra *et al.*, 2009). Al evaluar el valor energético del glicerina cruda de diferentes fuentes en lechones se determinó el valor de energía digestible en un rango de 3022 a 5228 Kcal/kg y en energía metabolizable de 2535 a 5206 Kcal/kg (Kerr *et al.*, 2009). El valor energético como energía metabolizable significo en promedio un 85,4% de la energía bruta (EB) y no varió en las diferentes fuentes evaluadas. El valor energético dependió del contenido de glicerol, metanol y de ácidos grasos (Kerr *et al.*, 2009). Así, para el caso de la glicerina cruda en lechones se determinó las siguientes ecuaciones para determinar el contenido de energía metabolizable, EM (kcal/kg) = $(37,09 \times \% \text{ glicerol}) + (97,15 \times \% \text{ AG})$ R^2 : 0,41, AG se refiere al contenido de ácidos grasos, el valor de energía bruta se determinó como, EB (kcal/kg) = $-236 + (46,08 \times \% \text{ glicerol}) + (61,78 \times \% \text{ metanol}) + (103,62 \times \% \text{ AG})$ R^2 : 0,99 y en promedio el contenido de EM se determinó como el 85,4% (ES= 5,3) de la EB (Kerr *et al.*, 2009). En cerdos en crecimiento se observó que la glicerina cruda es una fuente energética con buena disponibilidad con valores de ED de 3344 kcal/kg y EM de 3207 kcal/kg (Lammers *et al.*, 2008b).

En lechones se ha observado que la inclusión de glicerina cruda mejora la ganancia diaria promedio de una manera linear, sin afectar el consumo de alimento, ni la conversión alimenticia (Groesbeck *et al.*, 2008). Resultados similares fueron obtenidos

con un 8% de glicerol en la dieta (Schieck *et al.*, 2010b). En Estados Unidos se evaluó el efecto que tuvo las dietas suplementadas con glicerina cruda en el desempeño, las características de la canal, la calidad de la carne y la histología en cerdos en crecimiento. El crecimiento de los animales, el consumo y la conversión no fueron afectados por los tratamientos. Para la profundidad de la grasa dorsal en la 10ª costilla con valores de 18,8; 21 y 20,7 mm, el área de ojo del lomo con 48,6, 49 y 46,6 cm², el porcentaje de magro libre de grasa con 52; 51,8 y 50,6%, y en la calidad de la carne del lomo, las pérdidas por cocción con 18,3; 17,9 y 18,6%, y la fuerza de ruptura con 6; 5,9 y 6 kg para 0, 5 y 10% de glicerina cruda, respectivamente, no hubo efecto del nivel de glicerina en la dieta. La evaluación sensorial no fue afectada por los tratamientos. El pH del lomo fue incrementado con la inclusión de glicerina cruda, con valores de 5,57; 5,65 y 5,65 para 0, 5 y 10% de glicerina cruda. La inclusión de glicerina cruda al 10% redujo el contenido de ácido linoleico y aumento el contenido de ácido eicosapentaenóico respecto a la inclusión de 0 y 5% de glicerina cruda en la dieta, este resultado se explicó en una variación en el contenido de ácidos grasos de las dietas experimentales, pues hubo reducción de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la dieta experimental al incluirse glicerina cruda en la dieta que reemplaza al maíz, fuente de importante de este tipo de ácidos grasos insaturados (Lammers *et al.*, 2008a). El tratamiento no afectó los metabolitos sanguíneos, ni la presentación de lesiones (Lammers *et al.*, 2008a). Anteriormente, este mismo grupo había observado un aumento en el ácido oleico de la grasa dorsal a costa de los ácidos linoleico y linolénico y consecuentemente una reducción en la relación AGPI: ácidos grasos saturados (AGS). En Grecia, se observó un incremento lineal en el contenido de ácidos poliinsaturados y una reducción lineal en el contenido de AGS con la inclusión de glicerina cruda, en ese mismo sentido la relación AGPI:AGS se incremento linealmente. Lo anterior también sugiere que el glicerol se metabolizo para la síntesis de glucosa y no para la síntesis de ácidos grasos (Lippas *et al.*, 2010).

En un estudio realizado en Brasil se notó una leve reducción de la ganancia de peso corporal en las etapas iniciales de desarrollo de los cerdos de engorde; sin embargo, al momento del sacrificio no se notaron diferencias significativas en el desempeño de los animales. Las características de calidad de la canal tampoco fueron afectadas, con espesura de grasa dorsal de 2,03; 2,03, 2,05 y 2,13 cm, área del ojo de lomo de 37,51;

36,53; 35,17 y 35,61 cm² y pH de 5,37; 5,44; 5,43 y 5,4 por lo que se recomienda la inclusión de la glicerina cruda hasta un 9% de la dieta (Berenchtein *et al.*, 2010). Estos resultados fueron similares a los obtenidos al evaluar la inclusión de 8% de glicerol en la dieta de cerdos durante todo el engorde o en las últimas seis semanas en donde la profundidad de la grasa dorsal en la décima costilla fue de 22,55; 23,69 y 23,01 mm, para 0 u 8% de glicerina cruda por todo el engorde o las últimas seis semanas, respectivamente. Para el caso del área del ojo de lomo los valores fueron 53,12; 51,91 y 51,88 cm², en cuanto a la retención de humedad en el tejido no se observaron diferencias significativas, esta característica se evaluó como las pérdidas totales del lomo con valores de 3,18, 3,06, 3,55%, ni para el pH del lomo con valores de 5,46; 5,50 y 5,46 para 0 u 8% de glicerina cruda por todo el engorde o las últimas seis semanas, respectivamente (Schieck *et al.*, 2010b). Se suman a estos resultados los obtenidos con la inclusión conjunta de ractopamina y glicerina hasta el 5%, donde al evaluar en el lomo las pérdidas por cocción fueron de 25,63 y 24,65%, la fuerza a la mordida por Warner-Bratzler (WB) fue de 3,95 y 3,81 kg, respectivamente para 0 y 5% de glicerina cruda, esto medido como el pico de fuerza con 50 kg de compresión y velocidad de 250 mm/min (Duttlinger *et al.*, 2009).

Para un mercado de cerdos pesados (46 a 160 kg) se observó que el 5% de inclusión en la dieta no afectó el desempeño de los animales, pero el 10% redujo la ganancia de peso corporal y afectó negativamente la conversión de alimento. La inclusión de glicerina cruda al 10% en la etapa de finalización ocasionó un aumento en las pérdidas por cocción del lomo (40,9%). Sin embargo, cuando la suplementación con 10% se realizó durante el período de crecimiento y engorde se presentaron las menores pérdidas por cocción (38,8%). Las pérdidas por goteo con valores de 1,56; 1,89; 1,57; 1,95 y 2,27%, la fuerza por WB no fueron afectadas por los tratamientos, esta última con valores de 3,12; 3,18; 3,33; 3,34 y 3,15 kg para el tratamiento control, 5 y 10% durante el periodo de crecimiento- finalización y 5 y 10% sólo en finalización, respectivamente. En cuanto a las características sensoriales, las respuestas no fueron muy consistentes para dar conclusiones (Della Casa *et al.*, 2009). En trabajos previos los resultados habían sugerido que la inclusión de glicerina podría reducir las pérdidas de agua y a la cocción del músculo semimembranoso, con valores de 1,81; 1,31; 1,86 y 1,47% para las pérdidas de agua y 30,09; 26,57; 28,74 y 24,58% para pérdidas por cocción para los tratamientos

de sebo con el cero y 5% de glicerina cruda o para colza con el sebo y 5% de glicerina cruda, respectivamente (Mourot *et al.*, 1994). Sin embargo, en los últimos trabajos el efecto de la glicerina cruda sobre las pérdidas de agua y a la cocción no se ha observado. En un trabajo más reciente se evaluó glicerina refinada, producto de la purificación de la glicerina cruda (97% de glicerol), con un valor de EM de 3584 kcal/kg en cerdos y no se observó efecto incluyendo hasta 15% de glicerina refinada en la dieta sobre el desempeño, tampoco se observaron efectos en las características de la canal o de la carne (Mendoza *et al.*, 2010).

En lechones la evaluación del efecto de la inclusión de glicerina cruda sobre la microbiota de íleon y ciego no se observó ningún efecto a nivel del íleon, pero en el caso del ciego no se observó efecto negativo, pero si una reducción lineal de *Clostridium*, *Lactobacillus* y gram positivos (Papadomichelakis *et al.*, 2010). En Australia no se observó efecto de la inclusión de glicerina cruda (76,1% de glicerol) en la etapa de finalización en niveles de 0, 4, 8, 12 y 16%, sobre los parámetros productivos, pero al momento del sacrificio, el glicerol sanguíneo aumenta linealmente con la inclusión en la dieta. Las características de la carne, medidas en el lomo, no fueron afectadas por los tratamientos, con valores para pH de 5,47; 5,46; 5,51; 5,49 y 5,48; pérdidas por goteo a las 24 horas de 5,6; 6,4; 6,9; 6,3 y 6,2%; pérdidas por cocción de 34,6; 34,1; 34,9; 33,3 y 34,0% y fuerza a la mordida por WB de 6,62; 6,54; 6,15; 6,04; 6,86 kg para niveles de 0; 4; 8; 12 y 16% de glicerina cruda, respectivamente. Debido a que niveles por encima del 8% durante el procesamiento de la dieta se formaron agregados entre las partículas de la dieta, los cuales forman terrones, que dificultan la distribución de la dieta, no se recomienda sobrepasar este nivel de inclusión en dietas en harina (Hansen *et al.*, 2009).

La inclusión de glicerina cruda en la dieta de cerdas lactantes bajo estrés no fue eficaz para controlar el estrés calórico. En el metabolismo energético se observó que el glicerol sanguíneo aumentó linealmente con la inclusión en la dieta de glicerina cruda, pero los niveles de glucosa en sangre no fueron afectados. La proteína de la leche no fue afectada por el tratamiento. La grasa y la materia seca de la leche tendió a incrementarse con la adición de glicerina cruda en la dieta, tendencia contraria a la observada en el contenido de cenizas. La inclusión de glicerina incrementó linealmente la concentración de lactosa en la leche de las cerdas (Schieck *et al.*, 2010a).

Bibliografía

Avellaneda Y, Rodríguez D, Afanador G, Ariza C. 2009. Efecto de la inclusión de glicerina cruda sobre el desempeño productivo de hembras de pollos de engorde en la Sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22 (3):494.

Bauer E, Jakob S, Mosenthin R. 2005. Principles of Physiology of Lipid Digestion. *Asian-australasian journal of animal science* 18 (2): 282-295

Berenchtein B. 2008. Utilização de glicerol na dieta de suínos em crescimento e terminação. Tesis de maestria, Universidade de Sao Paulo en Piracicaba. p. 46.

Berenchtein B, Costa L, Braz D. 2010. Utilização de glicerol na dieta de suínos em crescimento e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39 (7):1491-1496.

Chabeauti, E., J. Noblet, and B. Carre. 1991. Digestion of plant cell walls from four different sources in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 32:207-213.

Cherian G, Sauer W, Thacker P. 1988. Effect of predigestion factors on the apparent digestibility of protein for swine determined by the mobile nylon bag technique. *Journal of Animal Science* 66 (8):1963-1968.

Cherian G, Sauer W, Thacker P. 1989. Factors affecting the apparent digestibility of protein for swine when determined by the mobile nylon bag technique. *Animal Feed Science and Technology* 27 (1-2):137-146.

Church D, Pond W, Pond K. 2004. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*, edit Limusa Willey. México. pp111-112.

Close W, Heaven R, Stephen D. 1984. The influence of gastrointestinal cannulation on the energy metabolism of the pig. *Proceedings of the Nutrition Society* 55 (2):211-212.

De Lange C, Sauer W, Den Hartog L, Huisman J. 1991. Methodological studies with the mobile nylon bag technique to determine protein and energy digestibilities in feedstuffs for pigs. *Livestock Production Science* 29 (2-3):213-225.

Della Casa G, Bochicchio D, Faeti V, Marchetto G, Poletti E, Rossi A, Garavaldi A, Panciroli A, Brogna N. 2009. Use of pure glycerol in fattening heavy pigs. *Meat Science* 81 (1):238-244.

Duttlinger AW, Houser TA, Derouchey JM, MD Tokach SS, Dritz JL, Nelssen RD, Goodband KJ, Prusa y L Huskey. 2009. Sensory Characteristics of Loins from Pigs Fed Glycerol and Ractopamine HCl During the Last 28 Days of Finishing. In: *Proceedings of the Kansas Swine Day*, p. 274-279

Federación nacional de biocombustibles de Colombia. Cifras informativas del sector biocombustibles. Marzo de 2013. (On line) 30/03/2013 Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2841%29.pdf>

Garnica J, Restrepo J, Parra JE. 2009. Determinación del coeficiente de digestibilidad de materia seca, proteína cruda y energía de *Boehmeria nivea* L. Gaud en cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22 (3):490.

Graham H, Åman P, Newman R, Walt Newman C, Walt newman C. 1985. Use of a nylon-bag technique for pig feed digestibility studies. *British Journal of Nutrition* 54 (3):719-726.

Groesbeck CN, McKinney LJ, DeRouchey JM, Tokach MD, Goodband RD, Dritz SS, Nelssen JL, Duttlinger AW, Fahrenholz AC, Behnke KC. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mill production and nursery pig growth performance. *Journal of animal science* 86(9):2228-2236.

Gutiérrez C, Tamayo H, Parra JE. 2009. Determinación del coeficiente de digestibilidad de materia seca, proteína cruda y energía de tres variedades de maíz. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22 (3):491.

Hansen, CF, Hernandez A, Mullan, BP, Moore K, Trezona-Murray M, King RH, Pluske JR. 2009. A chemical analysis of samples of crude glycerol from the production of biodiesel in Australia and the effects of feeding crude glycerol to growing- finishing pigs on performance, plasma metabolites and meat quality at slaughter. *Animal Production Science* 49, 154– 161.

Kerr B, Weber T, Dozier III W, Kidd M. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. *Journal of animal science* 87 (12):4042-4049.

Kyriazakis I, Whittemore CT. 2006. *Whittemore's Science and Practice of Pig Production*. 3a ed. Blackwell Publishing. Oxford. p 685.

Lammers P, Kerr B, Weber T, Bregendahl K, Lonergan S, Prusa K, Ahn D, Stoffregen W, Dozier III W, Honeyman M. 2008a. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *Journal of animal science* 86 (11):2962-2970.

Lammers PJ, Kerr BJ, Weber TE, Dozier WA, III, Kidd MT, Bregendahl K, Honeyman MS. 2008b. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *Journal of animal science* 86 (3):602-608.

Lippas T, Papadomichelakis G, Zoidis E, Mountzouris KC, Fegeros K. 2010. Preliminary study on the effects of crude glycerol on the intramuscular fatty acid composition in growing pigs. In:production Eafa, editor. 61st annual meeting of the European association for animal production. Heraklion, Greece: Wageningen academic publishers. p. 483.

Mendoza OF, Ellis M, McKeith FK, Gaines AM. 2010. Metabolizable energy content of refined glycerin and its effects on growth performance, and carcass and pork quality characteristics of finishing pigs. *Journal of animal science* 88(12):3887-3895.

Mestra L, Rodríguez D, Suárez AL, Avellaneda Y, Mejía G, Afanador G, Ariza C. 2009. Uso de la técnica de bolsa de nylon móvil para determinar la energía digestible de

fuentes energéticas no convencionales en cerdos. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 22 (3):507.

Mourot J, Aumaitre A, Mounier A, Peiniau P, François AC. 1994. Nutritional and physiological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on fatty tissues and post mortem muscular parameters. Livestock Production Science 38 (3):237-244.

Noblet J, Jaguelin-Peyraud Y. 2007. Prediction of digestibility of organic matter and energy in the growing pig from an in vitro method. Animal Feed Science and Technology 134, 211–222

Noblet J y Perez JM. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. Journal of animal science 71:3389-3398.

Papadomichelakis G, Zoidis E, Mountzouris KC, Lippas T, Fegeros K. 2010. Effects of dietary glycerol on glycerol kinase gene expression and gut microbiota in growing piglets. In:production Eafa, editor. 61st annual meeting of the European association for animal production. Heraklion, Greece: Wageningen academic publishers. p. 483.

Parra J, Gómez A. 2009. Importancia de la utilización de diferentes técnicas de digestibilidad en la nutrición y formulación porcina. Revista MVZ Cordoba 14 (1):1633-1641.

Petry H y Handlos B M. 1978. Untersuchungen zur bestimmung der verdau-lichkeit von nährstoffen und futter energie mit hilfe der nylon beutel technik beim Schwein. Archiv für Tierernaehrung 28: 531-543.

Posada-Duque JA y Cardona-Alzate CA. 2010. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel. Ingeniería y Universidad 14(1): 9-27.

Qiao S, Thacker P. 2004. Use of the mobile nylon bag technique to determine the digestible energy content of traditional and non-traditional feeds for swine. *Archives of Animal Nutrition* 58 (4):287-294.

Ramos Y. 2013. Evaluación de la composición química de subproductos del proceso de producción de biodiesel proveniente de la palma de aceite con potencial uso en sistemas de alimentación animal. Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá. 20-24 p.

Sakomura N, Rostagno H. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep. 283p.

Sauer W, Den Hartog L, Huisman J, Van Leeuwen P, De Lange C. 1989. The evaluation of the mobile nylon bag technique for determining the apparent protein digestibility in a wide variety of feedstuffs for pigs. *Journal of Animal Science* 67 (2):432-440.

Sauer WC, Jorgensen H, Berzines R. 1983. A modified nylon bag technique for determining the apparent protein digestibility in feedstuffs of pig. *Canadian Journal of Animal Science* 62:233-237.

Schieck SJ, Kerr BJ, Baidoo SK, Shurson GC, Johnston LJ. 2010a. Use of crude glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. *Journal of Animal Science* 88 (8):2648-2656.

Schieck SJ, Shurson GC, Kerr BJ, Johnston LJ. 2010b. Evaluation of glycerol, a biodiesel coproduct, in grow-finish pig diets to support growth and pork quality. *Journal of Animal Science*. 88 (12):3927-3935.

Shields MC. 2009. Evaluation of the Nutritional Value of Glycerol, a Byproduct of Biodiesel Production, for Swine. Tesis de Maestría, North Carolina State University en Raleigh. p. 63.

Stigka EK, Paravantis JA, Mihalakakou GK. 2014. Social acceptance of renewable energy sources: A review of contingent valuation applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32, 100 – 106

Van Kleef D, Deuring K, Van Leeuwen P. 1994. A new method of faeces collection in the pig. *Laboratory animals* 28 (1):78-79.

Viljoen J, Fick J, Coetzee S, Hayes J, Siebrits F. 1998. Apparent and true amino acid digestibilities of feedstuffs in pigs employing the total ileal content (TIC) technique and the mobile nylon bag technique (MNBT). *Livestock Production Science* 53 (3):205-215.

Viljoen J, Ras M, Siebrits F, Hayes J. 1997. Use of the mobile nylon bag technique (MNBT) in combination with the ileo-rectal anastomosis technique (IRA) to determine amino acid digestibility in pigs. *Livestock Production Science* 51 (1-3):109-117.

Yin Y, Huang R, Zhong H, Li T, Souffrant W, de Lange C. 2002. Evaluation of mobile nylon bag technique for determining apparent ileal digestibilities of protein and amino acids in growing pigs. *Journal of Animal Science* 80 (2):409-420.

2. Valor de energía digestible de la glicerina cruda para cerdos en función del nivel de almidón de maíz en la dieta y la técnica de bolsa móvil de nailon (TBMN) y el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI)

2.1 Introducción

La industria de biodiesel genera glicerina cruda, un subproducto con valor energético de interés para la alimentación animal. En Colombia la capacidad instalada de producción de biodiesel se calculó en el año 2012, en 591000 toneladas métricas (Tm) al año, según la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia (2013), y desde el año 2009 la producción de este biocombustible ha aumentado (Federación nacional de biocombustibles de Colombia, 2013). Por cada litro de biodiesel producido se generan alrededor de 79 g de glicerina cruda (Lammers *et al.*, 2008a), con la capacidad instalada, al año se producirán en el país alrededor de 60,700 Tm de glicerina cruda. Esto para una glicerina cruda (80% de glicerol) con una densidad de 1,3 g/mL (Berenchtein *et al.*, 2010).

El valor nutricional de la glicerina cruda está representado por su valor energético, pero la medición de la disponibilidad biológica de la energía por los métodos tradicionales, como el método convencional con indicador (MCI), no es práctico para el análisis rápido y rutinario de recursos alimenticios debido a la cantidad de material a evaluar y de personal técnico que se requiere (Qiao y Thacker, 2004). Por el contrario, la técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN) ha demostrado permitir la valoración rápida y rutinaria de la disponibilidad biológica de la energía de los alimentos (Qiao y Thacker, 2004); Sin embargo, es necesario evaluar la correlación de los resultados de la TBMN con los del MCI que es una técnica de referencia.

Por otro lado, en ganado bovino de leche se ha observado disminución en el valor energético de la glicerina cruda al aumentar el contenido de almidón de la dieta, lo que se explicó por una reducción en la digestibilidad de la glicerina cruda (Schröder y Südekum, 1999), hecho que aun no se ha constatado en cerdos y que podría ocasionar una reducción en el valor nutricional de una fuente de energía como la glicerina cruda. Con el objetivo de determinar el efecto del nivel de almidón de maíz en la dieta de cerdos sobre el valor energético de la glicerina cruda utilizando dos técnicas; la TBMN y el MCI, se realizó el siguiente trabajo.

2.2 Materiales y métodos

Los métodos y procedimientos utilizados en el presente estudio fueron aprobados por el comité de bioética de la facultad de medicina veterinaria y zootecnia de la universidad nacional de Colombia sede Bogotá (Acta 4 del 28 de septiembre de 2011). El estudio se realizó en la Sección de Porcinos del Centro de Biotecnología y Bioindustria-Tibaitata de la corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), ubicado en Mosquera, Cundinamarca, entre los meses de octubre del año 2011 a marzo de 2012. Para alcanzar los objetivos se realizaron dos ensayos, el primero con la TBMN y un segundo ensayo con el MCI.

Los tratamientos consistieron en dos niveles de inclusión de almidón de maíz (10 y 12%) y 5 niveles de sustitución del almidón por glicerina cruda (0; 2,5; 5,0; 7,5 y 10%) en un arreglo factorial 2 x 5, los ingredientes y la composición calculada de las dietas utilizadas en la determinación de la EDA se puede observar en la tabla 2-1.

Las dietas con 10% de almidón de maíz y 0% de glicerina cruda y con 12% de almidón de maíz y 0% de glicerina cruda se tomaron como las dietas bases. En las dietas bases de acuerdo al nivel de sustitución del almidón de maíz por la glicerina cruda que se requería, se disminuía la inclusión del almidón y aumentaba la inclusión de glicerina cruda.

Para el diseño de las dietas la composición se calculó en base a la información reportada en las tablas brasileñas (Rostagno *et al.*, 2005).

Tabla 2-1. Ingredientes y composición calculada de las dietas utilizadas en la determinación de la EDA mediante la TBMN y el MCI (Tal como ofrecido)

Ingrediente	10% de Almidón	12% de Almidón
Maíz	48,93	46,98
Almidón de maíz ¹	10,00	12,00
Salvado de trigo	2,00	2,00
Soya extruida	5,81	4,41
Harina arroz	4,90	4,90
Torta Soya 49	23,59	24,94
Sal común	0,30	0,30
Bicarbonato de Sodio	0,59	0,59
Carbonato de Calcio	0,58	0,58
Fosfato Monodicalcico	1,99	2,00
DL-Metionina	0,07	0,07
L-Lisina HCl	0,34	0,34
L- Treonina	0,13	0,12
Colina	0,07	0,07
PremexVit Min ²	0,70	0,70
Composición calculada, ³		
EM, Kcal/kg	3237	3236
PC, %	19,24	19,24
FC, %	2,67	2,57
EE, %	3,84	3,51
Ca, %	0,72	0,72
P disp, %	0,40	0,40
BE, meq/kg	250	250
Lis dig, %	1,145	1,145
Almidón, %	42,26	42,74
EB, Kcal/kg ⁴	3879	3873
PC, % ⁴	19,35	20,37

¹De acuerdo al nivel de sustitución del almidón de maíz por la glicerina cruda se disminuía la inclusión del almidón y aumentaba la inclusión de glicerina cruda

²Premezcla mineral y vitamínica con el siguiente aporte por kg de dieta: Vitamina A, 10000 UI; Vitamina E, 60 UI; Vitamina B6, 3 mg; Vitamina B12, 0,03 mg; Niacina, 30 mg; Acido pantotenico, 20 mg; Biotina, 0,25 mg; Cu como CuSO₄, 15 mg; Fe como FeSO₄, 80 mg; Mn como MnSO₄, 40 mg; I como Ca(IO₃)₂, 1 mg; Zn como ZnO, 100 mg; Se como Na₂SeO₃, 0,3 mg.

³EM= Energía metabolizable; PC= Proteína cruda; FC= Fibra cruda; EE= Extracto etéreo; P disp= Fosforo disponible; BE= Balance electrolítico; Lis dig= lisina digestible (SID).

⁴Resultados analizados en el laboratorio de nutrición y microbiología de CORPOICA, Mosquera, Colombia

2.2.1 Técnica de la bolsa móvil de nailon (TBMN)

Se utilizaron ocho corrales de levante en los que se ubicó un cerdo por corral. Se utilizaron cerdos de la misma característica racial con cánula duodenal y con peso promedio $45,6 \pm 2,2$ kg. Para la cirugía de implantación de la cánula se realizó la inserción duodenal de la cánula aproximadamente 10 cm después de la desembocadura de los conductos pancreático y biliar, cuando los animales tenían un peso promedio de $16,38 \pm 1,7$ kg (Allen *et al.*, 2004).

La cánula se ubicó en la región abdominal a unos 5 cm de las costillas flotantes y paralelamente a ellas. Las cánulas simples fueron de acero inoxidable con una longitud y un diámetro interno de 4,4 y 1,8 mm, respectivamente. En las 24 h pre-operatorio se permitió que se realizara una evacuación de residuos de la digesta estomacal y la eliminación de la misma en el intestino delgado con suspensión del consumo, mientras que en el tiempo post-operatorio se realizó observación de la evolución de los animales y la adaptación a la cánula (Allen *et al.*, 2004; Sauer *et al.*, 1983). Este procedimiento se realizó en la clínica de Grandes Animales de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia UN- sede Bogotá. Los ocho cerdos operados para el desarrollo de este ensayo se recuperaron satisfactoriamente.

La dieta base con la cual se alimentaron los animales durante el periodo experimental, estuvo constituida por una mezcla de ingredientes para cerdos en fase de levante el cual cumplía o excedía los requerimientos nutricionales de los animales de acuerdo con las tablas brasileras (Rostagno *et al.*, 2005), la composición de la dieta base se puede observar en la tabla 2-2. La cantidad de dieta suministrada fue de 1736 g/animal/día, calculados de acuerdo a la ecuación de consumo ad libitum teniendo en cuenta el PV (NRC, 1998), en cuatro frecuencias a las 8, 10:30, 13:00 y 15:30 h (Qiao y Thacker, 2004). Las bolsas de 35 x 45 mm con poro de 48 μ m (Qiao y Thacker, 2004) se sometieron a pretratamiento enzimático, ubicándolas en un beaker de 1000 ml con 500 ml de solución 0,01 N de HCL con 377,4 UI de pepsina. El beaker se llevó a baño de maría con 65 oscilaciones/min y se incubaron por 4 h a 37 ° C (Qiao y Thacker, 2004).

En cada bolsa se colocó 1 g de dieta evaluada que constituía el tratamiento, se introdujeron 8 bolsas al día en cada cerdo (4 AM y 4 PM) (Mestra *et al.*, 2009). Se

recuperaron las bolsas 4 veces al día con cada distribución de alimento. Se registró la hora de introducción y recuperación de las bolsas para calcular el tiempo de tránsito. Las bolsas no se lavaron solo se limpiaron con papel absorbente (Qiao y Thacker, 2004). Cada bolsa se tomó como la unidad experimental (Mestra *et al.*, 2009).

Tabla 2-2: Composición de la dieta base utilizada en la TBMN (Tal como ofrecido).

Ingrediente	Contenido en % ¹
Maíz	62,38
Soya extruida	4,24
Torta Soya 49	25,76
Harina pescado	1,50
Aceite de palma	1,50
Cloruro de sodio	0,35
Bicarbonato de sodio	0,40
Carbonato de Calcio	0,82
Fosfato Monobicalcico	1,79
DL-Metionina	0,06
L-Lisina-HCl	0,36
L- Treonina	0,13
Premezcla Vit Min ²	0,70
Composición calculada ³	
EM, Kcal/kg	3280
PC, %	21,00
EE, %	5,75
FC, %	2,75
Lis dig, %	1,25
Ca, %	0,825
P disp, %	0,413

¹%=porcentaje de inclusión del ingrediente en la dieta

²Premezcla mineral y vitamínica con el siguiente aporte por kg de dieta: Vitamina A, 10000 UI; Vitamina E, 60 UI; Vitamina B6, 3 mg; Vitamina B12, 0,03 mg; Niacina, 30 mg; Acido pantotenico, 20 mg; Biotina, 0,25 mg; Cu como CuSO₄, 15 mg; Fe como FeSO₄, 80 mg; Mn como MnSO₄, 40 mg; I como Ca(IO₃)₂, 1 mg; Zn como ZnO, 100 mg; Se como Na₂SeO₃, 0,3 mg.

³ EM= Energía metabolizable; PC= Proteína cruda; EE= Extracto etéreo; FC= Fibra cruda; Lis dig= lisina digestible (SID); Ca= Calcio; P disp= Fosforo disponible.

Para la elaboración de los tratamientos experimentales a ubicarse en las bolsas todos los constituyentes se molieron con criba de 1 mm (Qiao y Thacker, 2004), de cada tratamiento se introdujeron 4 bolsas por cada dieta en cada cerdo, para un total de 32

bolsas por tratamiento (dieta) y un total de 320 bolsas, la distribución de las bolsas para cada cerdo fue al azar evitando que se repitieran bolsas del mismo tratamiento el mismo día.

Las bolsas se introdujeron en un periodo de 10 días, dos días iniciales de introducción de bolsas, posteriormente 5 días de descanso para los animales sin introducirles bolsas y 3 días finales de introducción de bolsas. De las 320 bolsas totales que se introdujeron se recuperaron un total 251 bolsas, el número de bolsas recuperado por dieta experimental se puede observar en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Número de bolsas recuperadas por dieta experimental

Nivel almidón, %	Glicerina cruda, %	N ¹
10	0	29
	2,5	24
	5	25
	7,5	23
	10	21
	0	26
12	2,5	24
	5	27
	7,5	24
	10	28

¹N=número de bolsas recuperadas

Para la introducción de las bolsas a través de la cánula duodenal, la ración de dieta basal programada para ser ofrecida se dividió en tres fracciones, con la adición de la primera fracción se abría la cánula y se eliminaban los residuos presentes al interior de la cánula, y se cerraba nuevamente; posteriormente se le adicionaba la segunda fracción de alimento y se procedía a introducir la primera bolsa; luego se adicionaba la tercera fracción de alimento y se introducía la segunda bolsa, con lo que se lograba manejar el cerdo, para introducir las bolsas mientras consumía el alimento, este procedimiento se repetía cada vez que se iban a introducir las bolsas a través de la cánula. Las bolsas que se introdujeron a través de la cánula se recuperaron luego del tránsito por el total del tracto digestivo en las heces. La bolsas se recuperaron en una bolsa alrededor del ano

del cerdo la cual se adhirió al animal con cinta quirúrgica, previamente el cerdo se depilo y lavo en la zona en la que se ubicaría la cinta.

La glicerina cruda se obtuvo de la planta de producción de Biodiesel de la empresa BIO D S.A. ubicada en Facatativá, Cundinamarca. La composición de la glicerina cruda evaluada se muestra en la tabla 2-4, los análisis fueron realizados en el laboratorio de nutrición y microbiología del Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) de acuerdo a los protocolos internos que se ajustan con AOAC, 1995.

Tabla 2-4: Composición y EB de la glicerina cruda evaluada (Valores en MS).

Característica	Contenido	Método
Humedad, %	10,2	AOAC 984.20
Energía Bruta, Kcal/kg	3964	Calorimétrica adiabática
Glicerol, %	91,3	AOAC 996.01
Extracto Etéreo, %	2,0	AOAC 920.39
Ceniza, %	5,1	AOAC 942.05
Sodio, %	1,7	AOAC 956.01
Potasio, %	0,01	AOAC 956.01
Calcio, %	0,02	AOAC 953.01

Para la determinación de la energía digestible del almidón se utilizaron 8 bolsas pasando una a cada cerdo, el peso de los cerdos al momento de la evaluación del almidón fue de $34,9 \pm 1,44$ kg. La determinación de la energía bruta del contenido de las bolsas con las dietas experimentales y con las recuperadas que contenían el residuo se realizó en una bomba calorimétrica PARR (Mendoza *et al.*, 2010). El valor de EDA de la glicerina cruda se determinó como la pendiente del análisis de regresión (Lammers *et al.*, 2008b); Con la EDA determinada para el almidón se realizó la corrección al contenido de EDA de la dieta de acuerdo al contenido de almidón para realizar el análisis de regresión múltiple con el fin de determinar la EDA de la glicerina cruda (Kaps y Lamberson, 2004).

2.2.2 Método convencional con indicador

El presente estudio se realizó en la Sección de Porcinos del Centro de Biotecnología y Bioindustria-Tibaitata de CORPOICA. Se utilizaron 10 jaulas metabólicas, que permitían

la recolección separada de las heces y las orina, en las que se ubicó en cada una un animal (Mendoza *et al.*, 2010). Se utilizaron 10 cerdos de $9,8 \pm 1,2$ Kg de PV de la misma característica racial. Las dietas experimentales fueron las mismas que se utilizaron para la TBMN.

El consumo de energía se calculó al multiplicar el consumo de alimento promedio de todos los días de recolección por el contenido de energía bruta (EB) del alimento analizada. La energía metabolizable aparente (EMA) de la dieta se determinó al sustraer la EB de la orina de la EDA de la dieta (Mendoza *et al.*, 2010). Se realizó un periodo de adaptación de 5 días y 2 días de recolección de heces y orina (Viljoen *et al.*, 1998; Mendoza *et al.*, 2010; Mok *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2013). En el periodo de recolección se calculó el consumo de alimento, para tal fin, se pesó el alimento ofrecido y el despreciado al final del periodo de recolección (Lammers *et al.*, 2008b). También se realizó una colección cuantitativa de la orina, esta se almacenó en los días de recolección en recipientes plásticos con 30 ml de HCl 6 N. La orina se recolectó 2 veces al día y se registró el volumen producido, luego se tomó una alícuota representativa, la cual se almacenó a -20°C hasta los análisis (Lammers *et al.*, 2008b). Para determinar la digestibilidad de la energía se utilizó el método de indicador utilizando óxido de cromo a una concentración de 0,5% en la dieta.

Para los análisis de laboratorio se tomaron muestras de las heces por cerdo y se secaron a 70°C por 48 h en estufa, luego de determinar el contenido de MS se molieron en una criba de 1 mm se constituyó una muestra de 100 g para determinar el contenido de energía bruta, nitrógeno y cromo de acuerdo con los protocolos del Laboratorio de Nutrición de CORPOICA, IN-R-274, IN-R-289 y IN-R-598, respectivamente. Para la determinación del contenido de energía de la orina se tomaron 2 ml de la mezcla de las alícuotas almacenadas y se secaron en 0,5 g de celulosa seca por 24 h a 50°C (Lammers *et al.*, 2008b). En una bomba calorimétrica PARR se analizó el contenido de energía del alimento, la orina, la celulosa y las heces (Mendoza *et al.*, 2010). La determinación de la EDA de la dieta se calculó utilizando las siguientes ecuaciones (Adeola, 2001):

$$\text{CDAE} = [1 - (\text{MA} \times \text{NH}) / (\text{MH} \times \text{NA})] \times 100$$

$$\text{EDA} = \text{EA} \times \text{CDAE}$$

$$\text{EMA} = \text{EDA} - \text{EU}$$

Dónde,

CDAE= coeficiente de digestibilidad aparente de la energía

MA = Concentración del indicador en el alimento, %

NH = Concentración del nutriente en las heces

MH = Concentración del indicador en las heces, %

NA = Concentración del nutriente en el alimento

EDA = Energía digestible aparente de la dieta, Kcal/kg

EA = Energía bruta de la dieta, Kcal/kg

EMA = Energía metabolizable aparente de la dieta, Kcal/kg

EU = Energía bruta urinaria, Kcal/kg de dieta

El nitrógeno retenido (NR) se determinó como la diferencia entre el nitrógeno consumido y el excretado, el cual se tomó como la sumatoria del nitrógeno fecal y el urinario. El nitrógeno retenido de la dieta como porcentaje, se determinó como la proporción del nitrógeno consumido que era retenido (NR) en el cerdo (Adeola, 2001; Michalik *et al.*, 2014); Para lo cual se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$\text{NR} = \text{NC} - (\text{NF} + \text{NU})$$

$$\% \text{NR} = \text{NR} / \text{NC}$$

Dónde, NR es el nitrógeno retenido en g/d; NC es el nitrógeno consumido en g/d; NF es el nitrógeno fecal en g/d y UN es el nitrógeno urinario en g/d.

2.2.3 Análisis estadísticos

Los resultados con la TBMN se analizaron en un modelo de regresión lineal múltiple (Kaps y Lamberson, 2004), revisando que se cumplieran con los supuestos del modelo.

La digestibilidad y la metabolizabilidad de la energía, el consumo de alimento, la cantidad de heces, la producción de orina, la energía del alimento, heces y orina, en el MCI se analizaron como un modelo cuadrado latino, teniendo en cuenta la dieta, el cerdo y el periodo en la estructura de diseño, realizando un cuadrado para cada nivel de almidón (10 y 12%) (Kaps y Lamberson, 2004). El valor de energía digestible y metabolizabilidad de

la glicerina se determinó como la pendiente de la recta, realizando análisis de regresión lineal múltiple.

Los datos se analizaron utilizando el paquete SAS (Ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC. 2009) con los procedimientos GLM y REG.

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Determinación del valor de la EDA de la glicerina cruda por la TBMN

La EB del almidón del maíz se determinó en 4009 Kcal/kg de MS y la EDA se determinó en $3901 \pm 15,1$ Kcal/kg de MS, el contenido de humedad se estableció en 8,99% lo que arrojó un contenido de EDA de $3551 \pm 13,8$ Kcal/kg de materia natural y un coeficiente de digestibilidad de la energía (CDAE) del 97,3%. A pesar que no se encontraron reportes del número de bolsas recuperadas, se ha reportado la pérdida de bolsas, a pesar de estar los animales en jaulas metabólicas que evitaría en parte que esto se presentara (Qiao y Thacker, 2004). Por la experiencia del grupo de investigación es normal la pérdida ocasional de bolsas, pero teniendo en cuenta el número de animales que se tuvo en el presente ensayo, que fue mayor al que se había utilizado en trabajos previos, se consideró un número adecuado el de las bolsas recuperadas.

De acuerdo a los resultados del análisis de regresión ni el nivel de almidón en la dieta (almidón) ni la duración del tránsito de la bolsa (horas) afectaron el valor energético de la glicerina cruda, ya que la interacción no fue significativa ni para el nivel de glicerina cruda con el almidón ($P=0,24$) ni para el nivel de glicerina cruda con la duración del tránsito ($P=0,89$), y no se observó interacción entre el nivel de almidón y la duración del tránsito ($P=0,81$). Estos resultados se pueden observar en la tabla 2-5

El valor de energía digestible de la glicerina cruda fue de 3251 Kcal/kg de MS, determinado como el coeficiente que describe la pendiente del efecto del nivel de glicerina al describir la EDA de la dieta corregida por el contenido de almidón, este valor de EDA de la glicerina cruda representa un CDAE del 82,9% (Tabla 2-6). En este modelo también se observó que un aumento en la duración del tránsito aumentó el contenido de

EDA de la dieta, así por cada hora más de tránsito la EDA de la dieta se aumentó en 2,5 Kcal/kg. Esquemáticamente estos resultados se observan en la figura 2-1.

Tabla 2-5: Análisis de regresión múltiple de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón determinado por la TBMN.

Efecto	Estimado	ES	P
Intercepto	3029	39,9	< 0,001
Glicerina	2910	676,9	< 0,001
Almidón	2,6	1,0	< 0,001
Horas	-106	45,5	< 0,01
Glicerina x almidón	487	414,7	0,24
Glicerina x horas	2,4	16,0	0,89
Almidón x horas	-0,2	1,0	0,81

Tabla 2-6: Análisis de regresión de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el tiempo de tránsito determinado por la TBMN.

Efecto	Estimado	ES	P
Intercepto	3019	23,3	< 0,001
Glicerina	3251	206,2	< 0,001
Almidón	-93,6	13,3	< 0,001
Horas	2,5	0,5	< 0,001

El valor de EDA y CDAE para almidón determinado en el presente trabajo se acerca al reportado en Brasil de 3594 Kcal/kg en materia natural y 96,2%, respectivamente (Rostagno *et al.*, 2011).

El valor de energía digestible de la glicerina cruda determinado con la TBMN en el presente trabajo fue similar al valor de 3305 kcal/kg determinado en cerdos en crecimiento por el método de colecta total de heces para glicerina parcialmente refinada (86,76%) obtenida de aceite de colza (Kovács *et al.*, 2011), con un coeficiente de digestibilidad de la energía (CDAE) de 90,3%, este coeficiente también se acerca al observado en este estudio (Kovács *et al.*, 2011).

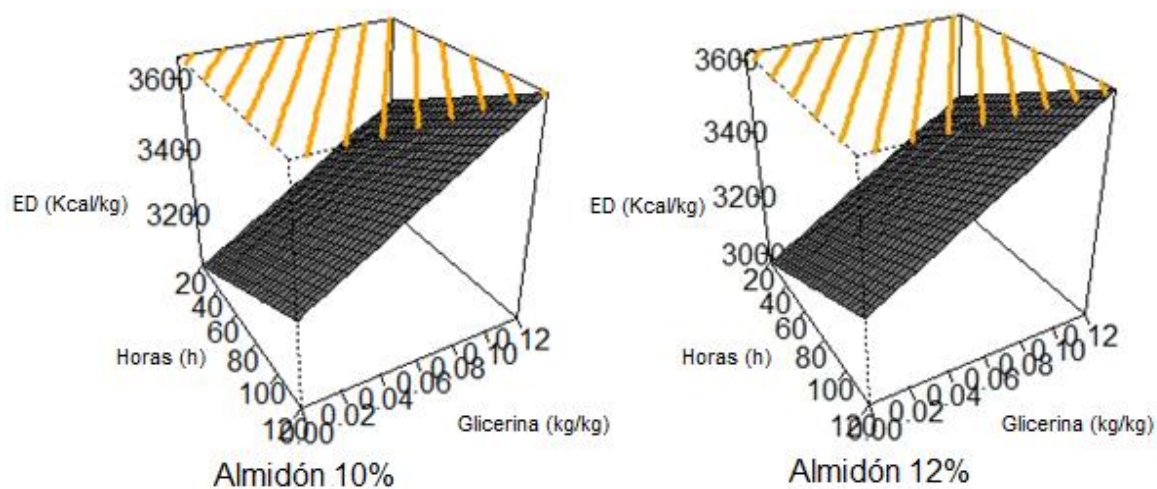


Figura 2-1. Relación entre la tasa de inclusión de glicerina cruda en la dieta (Glicerina), la duración del tránsito (Horas) y el valor de EDA corregida por el almidón de la dieta (ED).

En contraste, el valor encontrado de EDA de la glicerina cruda se encuentra por debajo del rango observado en lechones al evaluar diferentes fuentes de glicerina cruda (Kerr *et al.*, 2009) donde se estimó un valor entre 4135 a 5454 Kcal/kg de MS, mientras que en cerdos en crecimiento fue de 3683 kcal/kg de MS (Lammers *et al.*, 2008b) y cercano al reportado en la tablas Brasileiras (Rostagno *et al.*, 2011). También fue inferior al determinado en Colombia utilizando la TBMN (Mestra *et al.*, 2009).

Las diferencias en el valor energético de la glicerina cruda se han explicado en trabajos anteriores básicamente por la composición de la glicerina evaluada y entre los componentes mas relevantes para determinar el valor energético se han citado el contenido de glicerol, AG y metanol (Kerr *et al.*, 2009).

En cerdos en crecimiento no se observó efecto del tipo de cerdo (desde los 8,4 kg hasta los 109,6 kg de PV) en el contenido energético, medido como EDA y EMA, de la glicerina cruda (Lammers *et al.*, 2008b).

De tal forma, las diferencias en el contenido de EDA de la glicerina cruda determinado por la TBMN con las reportadas en trabajos anteriores se pueden explicar por diferencias en la composición de las glicerinas cruda evaluada en cada trabajo, este efecto ya se ha observado con la TBMN al revisar el valor energético de un grupo de alimentos y compararlo con los valores de tablas donde las diferencias se pudieron explicar por las diferencias en la composición de los alimentos (Qiao y Thacker, 2004).

2.3.2 Efecto de la inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre el uso del nitrógeno de la dieta en cerdos en crecimiento evaluado por el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI)

El análisis del metabolismo nitrogenado mostró una interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ($P < 0,01$) sobre la cantidad de nitrógeno digestible, de tal forma que se observó una reducción en la cantidad de nitrógeno digestible con la inclusión de glicerina cruda cuando la dieta tenía 12% de almidón y por el contrario un aumento cuando la dieta tenía 10% de almidón (Tabla 2-7). Esta interacción se ha observado para otras fuentes de carbohidratos las que afectaron la tasa de pasaje y la viscosidad de la dieta afectando su digestibilidad (Owusu-Asiedu *et al.*, 2006)

En el caso del nitrógeno fecal medido como porcentaje del consumido o como cantidad por día no se observó interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ($P > 0,05$), ni un efecto del nivel de glicerina cruda ($P > 0,05$). Por otro lado para el nivel de almidón en la dieta se observó un valor más alto de nitrógeno fecal al nivel del 10% comparado con el nivel del 12% ($P < 0,01$). Esto se ha explicado por una reducción en la tasa de pasaje de la digesta ocasionado por el aumento en el nivel de almidón en la dieta, lo que permite una mejor acción enzimática para la hidrólisis de los nutrientes y mayor tiempo para su absorción (Ertringer *et al.*, 1975).

Los resultados de nitrógeno urinario no mostraron interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ($P > 0,05$), ni un efecto del nivel de glicerina cruda o almidón en la dieta ($P > 0,05$).

El nitrógeno retenido no mostró una interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ($P>0,05$), ni efecto del nivel de glicerina cruda ($P>0,05$). Sin embargo, para el nivel de almidón en la dieta se observó ($P<0,01$) el nitrógeno retenido más alto al nivel del 12% de almidón en la dieta comparado con el nivel del 10%.

Tabla 2-7: Efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda en la dieta sobre la energía urinaria

Parámetro	Nivel de almidón (%)												Valor de P ¹						
	10						12												
	0	2,5	5	7,5	10	23,6	23,8	21,4	20,9	21,9	24,1	24,2	23,8	23,1	22,9	EEM	A	G	AxG
N consumido, g/d	22,9	23,6	22,9	23,8	23,6	24,1	24,2	21,9	21,9	21,9	24,1	24,2	23,8	23,1	22,9	0,12	0,001	0,001	0,001
N digestible, g/d	20,1	20,8	20,2	21,4	20,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	24,1	24,2	23,8	23,1	22,9	0,33	0,001	0,001	0,001
N fecal, g/d	2,8	2,8	2,7	2,4	2,7	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	2,4	2,3	2,2	2,2	0,34	0,001	0,430	0,820
N fecal, %	13,1	12,1	12,3	10,6	11,8	9,7	10,1	10,1	10,1	10,1	9,9	10,0	9,9	10,0	10,0	1,67	0,001	0,650	0,470
N urinario, g/d	5,9	5,3	5,4	5,6	5,4	4,9	5,3	5,3	5,3	5,3	5,9	5,0	5,9	5,0	5,5	1,48	0,620	0,990	0,780
NR, g/d	14,1	15,5	14,9	15,8	15,6	17,0	16,6	16,6	16,6	16,6	15,6	15,9	15,6	15,9	15,2	1,5	0,040	0,750	0,180
NR, %	61,6	65,6	64,0	65,7	63,8	68,6	68,5	68,5	68,5	68,5	65,7	67,5	67,5	67,5	65,2	6,3	0,110	0,860	0,850

^1= Efecto del nivel de almidón; G= Efecto del nivel de glicerina cruda; AxG= efecto de la interacción entre A y G

¹A= Efecto del nivel de almidón; G= Efecto del nivel de glicerina cruda; AxG= efecto de la interacción entre A y G

Para finalizar, los resultados de nitrógeno retenido (%) no mostraron una interacción entre el nivel de glicerina cruda y almidón en la dieta ($P>0,05$), ni un efecto del nivel de glicerina cruda o almidón en la dieta ($P>0,05$).

El efecto no significativo de la inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre la retención de nitrógeno es contrario a lo hallado en pollos de engorde (Cerrate *et al.*, 2006). En este caso los autores sugieren una reducción de la acción de las enzimas fosfoenolpiruvato carboxiquinasa y glutamato deshidrogenasa evitando el uso de los aminoácidos como sustrato gluconeogénico, favoreciendo su deposición en proteína.

2.3.3 Determinación del valor energético de la glicerina cruda por el método convencional de recolección de heces con el uso de un indicador (MCI)

Los resultados de EDA y EMA de la dieta se presentan en la tabla 2-8. De acuerdo a los resultados del coeficiente de digestibilidad aparente de la energía (CDAE) de la dieta no se observó interacción entre el nivel de glicerina y el nivel de almidón en la dieta ($P>0,05$) ni efecto del nivel de glicerina cruda en la dieta ($P>0,05$), pero se observó un mayor CDAE en las dietas con 12% de almidón con respecto a las del 10% de almidón ($P<0,01$). Para el contenido de EDA de la dieta se presentó interacción entre el nivel de glicerina y el nivel de almidón en la dieta ($P<0,05$) de tal manera que al aumentar el nivel de glicerina en las dietas con 10% de almidón la EDA de la dieta aumento; pero por el contrario en las dietas con el 12% de almidón al aumentar el nivel de glicerina cruda en la dieta la EDA no se vio afectado. Este resultado es similar al observado para el nitrógeno digestible y se ha observado para otras fuentes de carbohidratos las que pueden afectar la tasa de pasaje y la viscosidad de la dieta afectando su digestibilidad (Owusu-Asiedu *et al.*, 2006), y de acuerdo a estas observaciones el glicerol aportado por la glicerina cruda interactúa con el almidón al nivel de 12% favoreciendo una mejor tasa de pasaje y digestibilidad de la energía de la dieta. Para la relación de EMA a EB de la dieta y el contenido de EMA de la dieta no se observó efecto del nivel de glicerina ni del nivel de almidón en la dieta ($P>0,05$).

Tabla 2-8: Efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda en la dieta sobre la EDA y la EMA de la dieta

Nivel de almidón, %	Nivel de glicerina cruda, %	EB, Kcal/kg	CDAE, %	EDA, Kcal/kg	REL EM/EB, %	EMA, Kcal/kg
10	0	3879	88,4	3427	83,9	3255
10	2.5	3884	88,8	3449	85,0	3301
10	5	3871	89,0	3446	84,5	3270
10	7.5	3890	89,9	3495	84,8	3297
10	10	3889	88,8	3452	82,2	3198
12	0	3873	90,3	3497	85,6	3317
12	2.5	3841	89,8	3449	84,9	3262
12	5	3841	89,8	3450	84,8	3257
12	7.5	3834	90,2	3457	84,9	3255
12	10	3835	90,3	3464	83,9	3218
EEM			0,95	36,9	1,8	70,7
Valor de P ¹						
A			<0,001	0,379	0,149	0,915
G			0,450	0,431	0,148	0,113
AxG			0,355	0,039	0,682	0,436

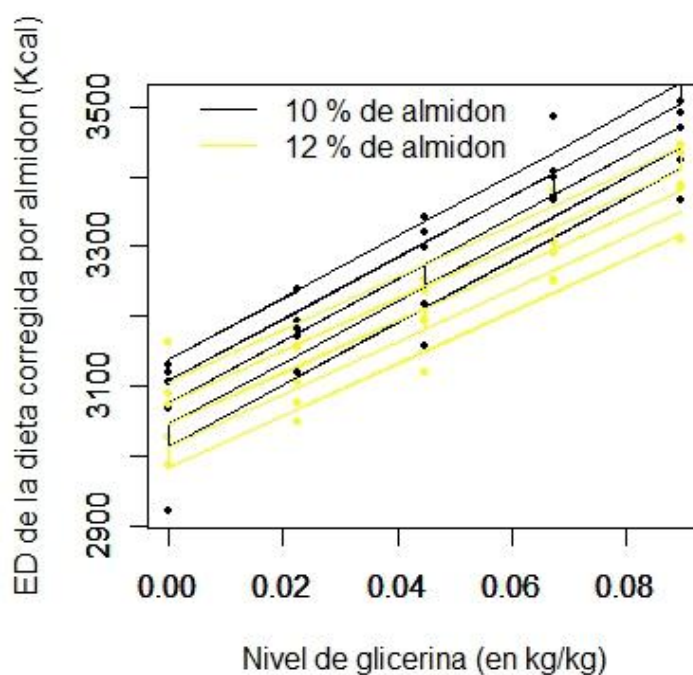
¹A= Efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda; G= Efecto del nivel de almidón y de glicerina cruda; AxG= efecto de la interacción entre A y G

El incremento observado en el CDAE de la dieta con el aumento en el contenido de almidón, se puede explicar por el aumento en el contenido de material digestible ocasionado por el incremento en el contenido de almidón en la dieta que tiene un CDAE del 96,17% (Rostagno *et al.*, 2011), o de acuerdo a lo observado con la TBMN en el exp. 1 del 97,3%.

En el análisis de regresión de los resultados obtenidos con el MCI, el nivel de almidón en la dieta (Almidón) afectó el valor de EDA de la glicerina cruda, ya que la interacción fue significativa para este efecto ($P < 0,01$), lo que indica variación en la pendiente del efecto del nivel de glicerina al describir la EDA de la dieta corregida por el contenido de almidón. Teniendo en cuenta que la pendiente estima el valor de EDA de la glicerina cruda, una variación en la pendiente indica una variación en el valor de EDA de la glicerina cruda. De tal forma que el valor de EDA de la glicerina cruda se redujo al aumentar la inclusión de almidón en la dieta (4427 vs 3769 Kcal/kg de MS) (véase figura 2-2). Esto significó una reducción en 691,5 Kcal/kg de MS ó un 15,6% en el contenido de EDA de la glicerina cruda. Los resultados del análisis de regresión se pueden ver en la tabla 2-9.

Tabla 2-9: Resultados del análisis de regresión de la EDA de la dieta corregida por el contenido de EDA del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el periodo determinado por el MCI.

Efecto	Estimado	ES	Valor T	Pr(> t)
Intercepto	2952,1	19,9	148,6	< 0,01
Periodo	30,9	3,75	8,2	< 0,01
Glicerina	4427,3	236,7	18,7	< 0,01
Almidón	-31,5	18,4	-1,7	0,09
Glicerina x Almidón	-691,5	334,7	-2,1	0,04



EDA de la dieta corregida por almidón (Kcal) = 2952,1+30,9 (Periodo)+4427,3 (Glicerina) 31,5 (Almidón) - 691,5 (Glicerina:Almidón)

Figura 2-2. Relación entre el nivel de inclusión de glicerina cruda en la dieta y el valor de EDA corregido por el almidón de la dieta. N= 50, R-ajust=0,936. P < 0,01.

El valor de energía digestible de la glicerina cruda observado en el ensayo por el MCI se encuentra cercano al valor determinado en lechones al evaluar diferentes fuentes de glicerina cruda (Kerr *et al.*, 2009), al valor observado en cerdos en crecimiento (Lammers *et al.*, 2008b; Kovács *et al.*, 2011), al reportado en la tablas Brasileiras (Rostagno *et al.*, 2011) y al valor energético determinado utilizando la TBMN en Colombia (Mestra *et al.*, 2009). Al analizar las diferencias en los resultados de contenido energético para dos muestras de una misma planta se notó una diferencia en la composición de las muestras que pudo explicar estas variaciones (Kerr *et al.*, 2009); se debe llamar la atención para recalcar que las diferencias en contenido energético dependen de la composición del material evaluado, de tal forma, que el contenido de EDA de la glicerina cruda depende de la composición química de la glicerina cruda en evaluación.

Los valores de EDA determinados por el MCI muestran un CDAE para el nivel del 12% de almidón de 95.01%, valor que es similar al 96.6% reportado en lechones (Kerr *et al.*, 2009) pero superior al 92% reportado para cerdos en crecimiento (Lammers *et al.*, 2008b).

El efecto del nivel de almidón en la dieta determinado por MCI sobre el valor de EDA de la glicerina cruda fue similar a lo observado en ganado bovino lechero en donde el valor energético de la glicerina como ENI fue más bajo cuando la dieta tenía un nivel alto de almidón respecto a un nivel bajo de almidón (Schröder y Südekum, 1999). La reducción en la digestibilidad de la energía de la glicerina cruda se puede explicar por una restricción en la absorción del glicerol, mecanismo que utiliza un transportador como fue evidenciado en ratas (Yuasa *et al.*, 2003). Este mecanismo de absorción es más importante cuando el glicerol se encuentra en baja concentración (Ohta *et al.*, 2006). El sistema de absorción del glicerol con transportador es complementado por transporte pasivo, el cual es insaturable (Kato *et al.*, 2004). Además, otro factor que puede ocasionar la reducción en la digestibilidad del glicerol es el hecho que el transportador del glicerol en las células intestinales de la rata ha demostrado ser sodio dependiente (Kato *et al.*, 2005) igual que el transportador de la glucosa que consume dos iones por mol de glucosa (Kaunitz *et al.*, 1982), lo que explicaría la reducción en la digestibilidad y en la absorción de la glicerina cruda, al aumentar el nivel de almidón en la dieta.

El nivel de almidón en la dieta no afectó el valor de EMA de la glicerina cruda ya que no se observó interacción ($P=0,54$) del nivel de almidón y el nivel de glicerina incluido. Para este caso el valor de EMA de la glicerina cruda fue de 3436 Kcal/kg de MS (Tabla 2-10). De acuerdo a la composición de la muestra evaluada de glicerina cruda y la ecuación propuesta por Kerr *et al.* (2009), el valor de EMA esperado sería de 3582 Kcal/kg de MS, valor cercano aunque mayor que el observado en el presente trabajo, lo que concuerda con lo expresado anteriormente que estas dos fracciones son las que presentan mayor capacidad de predicción del valor energético de la glicerina cruda (Kerr *et al.*, 2009). Para el caso de la relación EMA a EB el valor observado en el presente trabajo fue de 86.7% valor por el contrario mayor que el reportado para lechones de 85.4% (Kerr *et al.*, 2009).

Tabla 2-10: Resultados del análisis de regresión de la EMA de la dieta corregida por el contenido de EMA del almidón en función del nivel de glicerina, el nivel de almidón y el periodo determinado por el MCI.

	Estimado	ES	Valor T	Pr(> t)
Intercepto	2709,5	40	67,8	< 0,01
Periodo	55,4	7,6	7,3	< 0,01
Glicerina	3435,9	475,9	7,2	< 0,01
Almidón	-53,6	37	-1,5	0,15
Glicerina: Almidón	-411,1	673,1	-0,6	0,54

La pérdida de efecto del almidón en el valor de EMA de la glicerina cruda respecto al efecto observado en el contenido de EDA indica que el aumento en la digestibilidad del glicerol que se logra con el 10% de almidón y que ocasiona un aumento de glicerol disponible en la célula no fue metabolizado y se perderá por vía urinaria. Lo cual se pudo relacionar con los niveles de energía urinaria observado. Aunque no se observó un efecto del nivel de glicerina en el valor de EMA de la glicerina, evaluado como el efecto cuadrático ($P=0,28$), si se observó un aumento en el contenido de energía urinaria (EU) al aumentar el nivel de glicerina cruda en la dieta, esta relación se explicó por la siguiente ecuación: EB en la orina (Kcal/kg MS consumida)= $159,6 + 7,99 \times \text{Glicerina (\%)} (N= 100, R\text{-ajust}=0,1. P < 0,014)$. El aumento en el contenido de energía de la orina con la inclusión de glicerina cruda corresponde con la reducción del contenido de EM, de

metabolización de la glicerina y el incremento en el contenido de energía de la orina observada en cerdos de 11 kg de PV (Lammers *et al.*, 2008b). Además concuerda con una baja actividad enzimática de la glicerol quinasa que no se ajusta a los niveles de glicerol sanguíneo que indicarían una falla en la metabolización del glicerol (Papadomichelakis *et al.*, 2010) y dado que el glicerol que no se activa por la glicerol quinasa se eliminara en la orina (Della Casa *et al.*, 2009) ocasionaría un aumento en el contenido de energía de la orina.

Para comparar los dos métodos de determinación de la EDA se ha reportado en la literatura el análisis de correlación (Graham *et al.*, 1985; Cherian *et al.*, 1988; Viljoen *et al.*, 1997; Qiao y Thacker, 2004), de acuerdo a esto, se realizó análisis de correlación para los resultados obtenidos con la TBMN y con el MCI con la intención de analizar la relación que podía existir entre los resultados. Cabe advertir que los resultados, además del método, pudieron estar influenciados por el peso de los animales utilizados en cada ensayo. Sin embargo, en un trabajo previo no se observó influencia del peso del cerdo sobre el contenido de EDA y EMA de la glicerina cruda (Lammers *et al.*, 2008b). El valor de EDA de la dieta determinado en el MCI presentó una relación baja con el hallado con la TBMN ($R^2=-0,32$; $P=0,36$). Estos resultados se pueden ver en la tabla 2-11.

Tabla 2-11: Valores promedios de EDA de la dieta determinado por la TBMN y el MCI (Tal como ofrecido)

Nivel almidón, %	Glicerina cruda, %	EDA de la dieta con MCI, Kcal/kg	EDA de la dieta con TBMN, Kcal/kg
10	0	3427	3475
10	2,5	3449	3453
10	5	3446	3416
10	7,5	3495	3312
10	10	3452	3441
12	0	3497	3442
12	2,5	3449	3491
12	5	3450	3261
12	7,5	3457	3423
12	10	3464	3405

Sin embargo, los valores de EDA de la dieta corregidos por el contenido de almidón determinados con el MCI mostraron una relación alta con los valores obtenidos con la TBMN ($R^2=0,82$; $P<0,01$),

El coeficiente de determinación alto ($R^2=0,82$) encontrada entre los resultados con la TBMN y el MCI fue similar al observado en estudios previos (Graham *et al.*, 1985; Cherian *et al.*, 1988; Viljoen *et al.*, 1997; Qiao y Thacker, 2004). Sin embargo, en otra experiencia las digestibilidades de la energía de la cebada, del trigo, de la avena y del maíz fueron más bajas cuando se determinaron con la TBMN que con el MCI (De Lange *et al.*, 1991). Aparentemente las diferencias observadas en los diferentes recursos alimenticios evaluados dependen de la naturaleza del recurso. En general, el análisis de regresión simple en una gama de ingredientes presentó un coeficiente de correlación de 0,925 entre los dos métodos (Sauer *et al.*, 1989). Los resultados de TBMN no se comportan igual para diferentes grupos de recursos alimenticios y esta es la primera evaluación realizada con recursos líquidos como la glicerina cruda. Estos resultados se pueden ver en la tabla 2-12.

Tabla 2-12: Valores promedios de EDA de la dieta corregida por el nivel de almidón determinado por la TBMN y el MCI (Tal como ofrecido)

Nivel almidón, %	Glicerina cruda, %	EDA corregida almidón con MCI, Kcal/kg	EDA corregida almidón con TBMN, Kcal/kg
10	0	3068	3135
10	2,5	3180	3199
10	5	3266	3262
10	7,5	3406	3245
10	10	3452	3459
12	0	3066	3027
12	2,5	3108	3171
12	5	3198	3028
12	7,5	3295	3272
12	10	3392	3352

2.4 Conclusiones

Los valores de EDA de la glicerina cruda de palma por la TBMN son de 3251 Kcal/kg de MS y de 4427 y 3769 Kcal/kg de MS para los niveles de 10 y 12% de almidón de maíz

determinado por el MCI. El nivel del 12% de almidón de maíz en la dieta de cerdos redujo en 15.6 % el valor de EDA de la glicerina cruda de palma respecto al 10 % pero no afectó el valor de EMA

Los valores de EDA de la dieta corregido por el contenido de almidón determinado por el MCI y con la TBMN presentan 82% de relación.

Bibliografía

Allen J, Prieto P, Reyes J, Ly J. 2004. Técnica quirúrgica para la implantación de una cánula simple en el duodeno de los cerdos. Revista computarizada de producción porcina 11 (1):75-84.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Vol 1. Arlington. 1995 pp.

Berenchtein B, Costa L, Braz D. 2010. Utilização de glicerol na dieta de suínos em crescimento e terminação. Revista Brasileira de Zootecnia 39 (7):1491-1496.

Cerrate, S.; Yan, F.; Wang, Z.; Coto, C.; Sacakli, P.; Waldroup, P.W. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. International Journal of Poultry Science, 5 (11):1001-1007.

Cherian G, Sauer W, Thacker P. 1988. Effect of predigestion factors on the apparent digestibility of protein for swine determined by the mobile nylon bag technique. Journal of Animal Science 66 (8):1963-1968.

Cherian G, Sauer W, Thacker P. 1989. Factors affecting the apparent digestibility of protein for swine when determined by the mobile nylon bag technique. Animal Feed Science and Technology 27 (1-2):137-146.

De Lange C, Sauer W, Den Hartog L, Huisman J. 1991. Methodological studies with the mobile nylon bag technique to determine protein and energy digestibilities in feedstuffs for pigs. *Livestock Production Science* 29 (2-3):213-225.

Della Casa G, Bochicchio D, Faeti V, Marchetto G, Poletti E, Rossi A, Garavaldi A, Panciroli A, Brogna N. 2009. Use of pure glycerol in fattening heavy pigs. *Meat Science* 81 (1):238-244.

Entringer, R. P., M. P. Plumlee, and J. H. Conrad. 1975. Influence of diet on passage rate and apparent digestibility by growing swine. . *Journal of Animal Science* 40:486–494

Federación nacional de biocombustibles de Colombia. Cifras informativas del sector biocombustibles. Marzo de 2013. (On line) 30/03/2013 Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2841%29.pdf>

Graham H, Åman P, Newman R, W Newman C. 1985. Use of a nylon-bag technique for pig feed digestibility studies. *British Journal of Nutrition* 54 (03):719-726.

Kaps M, Lamberson W. 2004. *Biostatistics for animal science*. CABI. 154-311.

Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Yuasa H. 2004. Functional characterization of the carrier-mediated transport system for glycerol in everted sacs of the rat small intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 27 (11):1826-1830.

Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Yuasa H. 2005. Glycerol absorption by Na⁺-dependent carrier-mediated transport in the closed loop of the rat small intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 28 (3):553-555.

Kaunitz JD, Gunther R, Wright EM. 1982. Involvement of multiple sodium ions in intestinal D-glucose transport. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 79 (7):2315.

Kerr B, Weber T, Dozier III W, Kidd M. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. *Journal of animal science* 87 (12):4042-4049.

Kovács, P; Zsédely, E; Kovács, A; Virág, G; Schmidt, J. Apparent digestible and metabolizable energy content of glycerol in feed of growing pigs. *Livestock Science* 2011; 142, 229 – 234

Lammers P, Kerr B, Weber T, Bregendahl K, Lonergan S, Prusa K, Ahn D, Stoffregen W, Dozier III W, Honeyman M. 2008a. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *Journal of animal science* 86 (11):2962-2970.

Lammers PJ, Kerr BJ, Weber TE, Dozier WA, III, Kidd MT, Bregendahl K, Honeyman MS. 2008b. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *Journal of animal science* 86 (3):602-608.

Mendoza OF, Ellis M, McKeith FK, Gaines AM. 2010. Metabolizable energy content of refined glycerin and its effects on growth performance, and carcass and pork quality characteristics of finishing pigs. *Journal of animal science* 88(12):3887-3895.

Mestra L, Rodríguez D, Suárez AL, Avellaneda Y, Mejía G, Afanador G, Ariza C. 2009. Uso de la técnica de bolsa de nylon móvil para determinar la energía digestible de fuentes energéticas no convencionales en cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22 (3):507.

Michalik B, Biel W, Lubowicki R, Jacyno E. 2014. Chemical composition and biological value of proteins of the yeast *Yarrowia lipolytica* growing on industrial glycerol. *Canadian Journal of Animal Science* 94:99-104

Mok CH, Lee JH, Kim BG. 2013. Effects of exogenous phytase and -mannanase on ileal and total tract digestibility of energy and nutrient in palm kernel expeller-containing diets fed to growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 186: 209–213

NRC. 1998. Nutrient Requirements Of Swine. Nutrient requirements of domestic animals. 10 ed. Washington: National Academy of Sciences. p. 211.

Ohta K, Inoue K, Hayashi Y, Yuasa H. 2006. Carrier-mediated transport of glycerol in the perfused rat small intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 29 (4):785-789.

Owusu-Asiedu A. et al., 2006. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *Journal of Animal Science* 84, 843-852.

Papadomichelakis G, Zoidis E, Mountzouris KC, Lippas T, Fegeros K. 2010. Effects of dietary glycerol on glycerol kinase gene expression and gut microbiota in growing piglets. In: production Eafa, editor. 61st annual meeting of the European association for animal production. Heraklion, Greece: Wageningen academic publishers. p. 483.

Qiao S, Thacker P. 2004. Use of the mobile nylon bag technique to determine the digestible energy content of traditional and non-traditional feeds for swine. *Archives of Animal Nutrition* 58 (4):287-294.

Rostagno H, Albino L, Donzele J, Gomes P, de Oliveira R, Lopes D, Ferreira A, de Toledo Barreto S. 2005. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Rostagno H, Albino L, Donzele J, Gomes P, de Oliveira R, Lopes D, Ferreira A, de Toledo Barreto S, Euclides R. 2011. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Sauer W, Den Hartog L, Huisman J, Van Leeuwen P, De Lange C. 1989. The evaluation of the mobile nylon bag technique for determining the apparent protein digestibility in a wide variety of feedstuffs for pigs. *Journal of Animal Science* 67 (2):432.

Sauer WC, Jorgensen H, Berzines R. 1983. A modified nylon bag technique for determining the apparent protein digestibility in feedstuffs of pig. *Canadian Journal of animal Science* 62:233-237.

Schröder A, Südekum. K-H. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. In: Salisbury NWaPA, editor. *New Horizons for an Old Crops Proceedings 10th International Rapeseed Congress*; Canberra, Australia.

Viljoen J, Fick J, Coetzee S, Hayes J, Siebrits F. 1998. Apparent and true amino acid digestibilities of feedstuffs in pigs employing the total ileal content (TIC) technique and the mobile nylon bag technique (MNBT). *Livestock Production Science* 53 (3):205-215.

Viljoen J, Ras M, Siebrits F, Hayes J. 1997. Use of the mobile nylon bag technique (MNBT) in combination with the ileo-rectal anastomosis technique (IRA) to determine amino acid digestibility in pigs. *Livestock Production Science* 51 (1-3):109-117.

Yuasa H, Hamamoto K, Dogu S, Marutani T, Nakajima A, Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Watanabe J. 2003. Saturable absorption of glycerol in the rat intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 26 (11):1633-1636.

Zhou X, Oryschak MA, Zijlstra RT, Beltranena E. 2013. Effects of feeding high- and low-fibre fractions of air-classified, solvent-extracted canola meal on diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology* 179: 112– 120

3.Efecto de la glicerina cruda en la dieta de cerdos sobre los parámetros productivos, de la canal, de la carne y económicos

3.1 Introducción

La industria de los biocombustibles compite por cereales y oleaginosas con la industria animal forzando a un aumento en los precios de estos recursos alimenticios tradicionales utilizados en los sistemas de alimentación y a la búsqueda de recursos alimenticios alternativos. En este contexto, la glicerina cruda obtenida como subproducto del biodiesel se convierte en un recurso alimenticio atractivo para reemplazar los cereales en sistemas de alimentación de cerdos (Groesbeck, *et al.*, 2008). Sin embargo, el valor alimenticio de la glicerina cruda procedente del procesamiento de aceite de palma es relativamente desconocido. Con otros tipos de sustratos como la semilla de canola se han obtenido en Alemania una ganancia de peso diarias en cerdos en crecimiento superiores al 8% cuando se reemplaza cebada por glicerina cruda (Kijora y Kupsch, 1996). La glicerina cruda obtenida a partir del aceite de soya ha mostrado un valor energético en cerdos cercano al del maíz (Kerr *et al.*, 2009, Lammers *et al.*, 2008b). A niveles de inclusión de la glicerina cruda en dietas isoenergéticas e isoproteicas de hasta el 16%, el desempeño de los cerdos y las características de la canal y de la carne no se vieron afectados (Mourrot *et al.*, 1994; Lammers *et al.*, 2008a; Della Casa *et al.*, 2009; Hansen *et al.*, 2009; Mendoza *et al.*, 2010; Schieck *et al.*, 2010b). Sin embargo, debido a la sustitución del maíz como la fuente de ácidos grasos de la dieta por la síntesis endógena en las dietas con inclusión de glicerina cruda se observó una reducción en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Lammers *et al.*, 2008a). Ahora, para el caso de la glicerina cruda proveniente del aceite de palma no se tiene conocimiento de trabajos donde se haya evaluado su efecto sobre el desempeño de los cerdos. Con el objetivo de evaluar durante la fase de crecimiento -finalización, las características de la canal y de la carne de los

cerdos alimentados con dietas con inclusión de glicerina cruda procedente de aceite de palma crudo se planteo la realización del siguiente trabajo.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Descripción general

El presente trabajo se realizó en la sección porcina del Centro Agropecuario MARENGO de la UN-Bogotá. Se utilizaron 12 corrales en los que se ubicaron 3 cerdos en cada uno, cada corral constituyo la unidad experimental, para un total de cuatro repeticiones por tratamiento. Se utilizaron 36 cerdos de un PV promedio de $23,05 \pm 2,86$ Kg de la misma característica racial en un diseño de bloques completos al azar donde el tiempo de inicio en el ensayo fue el factor de bloqueo, ya que todos los cerdos no iniciaron al mismo tiempo. La dieta se suministró *ad libitum* realizando dos distribuciones diarias (08:00 y 14:00) para mantener una disponibilidad constante de alimento. Los tratamiento consistieron en tres niveles de inclusión de glicerina cruda (0, 5, 10%) en dietas isoenergeticas e isoproteicas, de acuerdo a los requerimientos nutricionales establecidos en las tablas brasileras (Rostagno *et al.*, 2005), la composición de la glicerina cruda utilizada se puede observar en la tabla 3-1. Se tomo el 10% como el máximo de inclusión ya que es el nivel que no ha afectado el desempeño de los cerdos para otras fuentes de glicerina cruda (Mourot *et al.*, 1994; Lammers *et al.*, 2008a; Della Casa *et al.*, 2009; Mendoza *et al.*, 2010; Schieck *et al.*, 2010b), en Australia hasta el 16% no se afecto el desempeño pero se observo dificultades en el manejo del alimento (Hansen *et al.*, 2009).

Tabla 3-1. Composición de la glicerina cruda evaluada (Tal como ofrecido).

Variable	Valor	Método
Humedad, %	8,3	AOAC 984.20
Energía Bruta, Kcal/kg	3696	Calorimetría adiabática
Glicerol, %	82,0	AOAC 996.01
Extracto etéreo, %	0,79	AOAC 920.39
Sodio, %	1,21	AOAC 956.01
Metanol, %	16,0	Cromatografía de gases

En la formulación de un sistema de alimentación por fases se mantuvieron constantes los valores de energía, sodio, cloro, lisina y la relación de proteína ideal para los demás

aminoácidos para cada fase y se formularon cuatro fases diferentes a saber: 20 a 30 kg, 30 a 50 kg, 50 a 70 kg y 70 a 100 kg de PV.

Para la formulación a la glicerina cruda se le asignó el valor de EM de 3579 Mcal/kg reportado por las tablas brasileras (Rostagno *et al.*, 2011). El cambio de fase se realizó con el pesaje para todos los corrales (Lammers *et al.*, 2008a). La composición de las dietas experimentales se presenta en la tabla 3-2. Debido a que la inclusión de glicerina cruda influye en el perfil de ácidos grasos del lomo se controló el nivel de ácido linolénico en la dieta para mantenerlo a un nivel constante, para lo cual fue necesario que variara la inclusión de aceite de palma y soya cocida como fuente de ácido linoleico.

La presentación de la dieta fue en harina. Semanalmente se determinó el peso corporal y el consumo de alimento, datos con los cuales se calculó la conversión de alimento. El consumo de alimento fue corregido de acuerdo al número de animales (Lammers *et al.*, 2008a). Al momento que se alcanzó el promedio el peso corporal al sacrificio se programó el día de sacrificio retirando el alimento el día anterior, pero manteniendo la disponibilidad de agua (Berenchtein *et al.*, 2010; Mendoza *et al.*, 2010).

El sacrificio se realizó en una planta comercial donde se realizó el faenado de los cerdos. Se tomaron los datos de un cerdo representativo del peso promedio del corral para los análisis siguientes: las canales se pesaron en caliente, se refrigeraron toda la noche a 0 °C, con estos datos se determinó el rendimiento en canal en caliente, posteriormente se midió el espesor de la grasa dorsal y el área del ojo de lomo y se calculó el rendimiento de carne magra (Berenchtein *et al.*, 2010).

El peso en caliente se midió 45 min luego del sacrificio (Mendoza *et al.*, 2010). El espesor de la grasa dorsal y el área del lomo se revisó en la última costilla del lado derecho, para esto se realizó el trazo del contorno en papel acetato. Para la determinación del rendimiento de carne magra (RCM) se utilizó la ecuación propuesta para Colombia (Beltran *et al.*, 1999).

$$RCM = 3,872 + (- 0,3344 * EGD) + 0,5623 * PCC$$

Dónde:

RCM = Peso de los cortes comerciales más importantes en la zona de Antioquia (Lomo, Cabeza de Lomo, Costilla, Tocino carne, Brazuelo y Pierna).

EGD = Espesor de grasa dorsal medido a 6 cm de la línea media a nivel de la última costilla en mm.

PCC = Peso de la canal caliente en Kg.

Tabla 3-2: Composición de las dietas experimentales (Tal como ofrecido)

Ingrediente	Precio, \$/kg	Fase I(20-30 kg)					Fase II(30-50 kg)					Fase III(50-70 kg)					Fase IV(70-100 kg)				
		0	5	10	10	10	0	5	10	10	10	0	5	10	10	10	0	5	10	10	10
Maíz	790	55,47	49,72	43,98	54,06	47,97	41,88	55,06	48,97	42,88	58,3	52,21	46,12								
Salvado de trigo	550	6,00	6,00	6,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Harina arroz	720	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Soya cocida	1240				0,29	2,77	5,24	0,26	2,73	5,2	0,21	2,69	5,16								
Soya torta	1080	24,9	25,97	27,05	20,16	19,55	18,93	17,6	17,00	16,39	14,58	13,97	13,36								
Aceite palma	2000	2,19	1,92	1,64	2,77	2,07	1,37	2,62	1,93	1,23	2,53	1,83	1,14								
Glicerina cruda	800	0,00	5,00	10,00	0,00	5,00	10,00	0,00	5,00	10,00	0,00	5,00	10,00								
Sal	205	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35								
Bicarbonato de Na	2500	0,38	0,34	0,30	0,44	0,39	0,34	0,5	0,44	0,39	0,60	0,55	0,50								
Caliza	140	0,85	0,83	0,82	0,8	0,78	0,76	0,71	0,69	0,67	0,67	0,65	0,63								
Fosfato bicalcico	2450	0,97	0,99	1,01	0,76	0,78	0,8	0,53	0,54	0,56	0,41	0,43	0,45								
DL-metionina	12000	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01								
L-lisina	4500	0,04	0,02	0,00	0,06	0,04	0,02	0,06	0,04	0,02	0,05	0,03									
L-treonina	6800	0,07	0,07	0,07																	
Colina	2782	0,07	0,07	0,07																	
Premezcla ²	20000	0,70	0,70	0,70	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30								
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100								
COMPOSICIÓN CALCULADA																					
EM, Mcal/kg		3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23								
PC, %		19,10	19,10	19,10	17,69	17,69	17,69	16,76	16,76	16,76	15,53	15,53	15,53								
Lisina dig, %		0,879	0,879	0,879	0,806	0,806	0,806	0,747	0,747	0,747	0,663	0,663	0,663								
P disp, %		0,308	0,308	0,308	0,273	0,273	0,273	0,229	0,229	0,229	0,205	0,205	0,205								
Ac Linoleico, %		1,993	1,845	1,696	2,130	2,130	2,130	2,190	2,190	2,190	2,230	2,230	2,230								
Almidon, %		39,21	35,64	32,07	40,07	36,41	32,73	41,08	37,41	33,74	43,01	39,34	35,67								
BE, meq/kg		250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250								

¹El precio está dado en pesos colombianos

²Premezcla mineral y vitamínica con el siguiente aporte por kg de dieta: Vitamina A, 10000 UI; Vitamina E, 60 UI; Vitamina B6, 3 mg; Vitamina B12, 0,03 mg; Niacina, 30 mg; Ácido pantoténico, 20 mg; Biotina, 0,25 mg; Cu como CuSO₄, 15 mg; Fe como FeSO₄, 80 mg; Mn como MnSO₄, 40 mg; I como Ca(IO₃)₂, 1 mg; Zn como ZnO, 100 mg; Se como Na₂SeO₃, 0,3 mg.

3EM= Energía metabolizable; PC= Proteína cruda; EE= Extracto etéreo, Lis dig= lisina digestible, Ca= Calcio, P disp= Fosforo disponible; Ac linoleico= ácido linoleico; BE= Balance electrolítico. A excepción de la EM que esta expresada en Kcal/kg y el BE en meq/kg, el resto de nutrientes están expresados en %.

3.2.2 Características de la carne

Del cerdo con peso vivo promedio del corral se tomó una muestra del músculo *Longissimus dorsi* (LM) y se revisó color, pH (Berenchtein *et al.*, 2010), capacidad de retención de agua (CRA), pérdidas por cocción y contenido de ácidos grasos.

Para las pruebas en el lomo inicialmente se retiró el epimisio. El pH se determinó con un potenciómetro portátil en el lomo 6h posmortem (Della Casa *et al.*, 2009). Para la capacidad de retención de agua (CRA) se tomó una muestra del lomo, la cual se molió con una criba número 4 (4,5 mm) y posteriormente se tomaron 350 mg ubicándolo en papel filtro y se cubrió la muestra con papel acetato, el conjunto se sometió a presión en un texturometro (EZ Test, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) por 5 min manteniendo la presión constante en 10 kg-f, luego se dejó secar por 24 h y se escaneo para realizar el análisis de las áreas. Para el análisis de las imágenes del área de lomo y CRA se utilizó el programa google sketch up 8 (ver. 8, Google Inc., Mountain View, CA, 2010).

El color se analizó en un equipo minoltachroma meter con un ángulo de visualización de 0°, en un área de medida con 50 mm de diámetro y un iluminante de D65. Para las pérdidas por cocción se tomaron lonjas del lomo de 4 cm de espesor y se cocinaron en horno por 30 min a 120 °C hasta que la temperatura interna alcanzo 55°C, posteriormente las lonjas se secaron con papel absorbente. Las pérdidas por cocción se expresaron como el porcentaje de peso perdido. La terneza se evaluó en un texturometro (EZ Test, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) siguiendo el método de Warner-Bratzler, para ello las lonjas cocidas de lomo se enfriaron por 24 h en 4 ° C, la mayor cantidad de cilindros (1,4 cm de diámetro interno) se tomó de cada lomo en paralelo al eje longitudinal de las fibras musculares con un equipo de perforación mecánica. Cada núcleo se cortó en el centro con el texturometro (cuchilla en forma de V). La compresión de la célula de carga fue de 10 kg y la velocidad de 200 mm/min. La fuerza se expreso como fuerza máxima (kg-f). La totalidad de los núcleos se promediaron para el análisis estadístico (Della Casa *et al.*, 2009; Lammers *et al.*, 2008a; Mendoza *et al.*, 2010).

3.2.3 Perfil de ácidos grasos intramusculares

Para analizar el contenido de ácidos grasos se extrajeron los lípidos de una muestra de lomo, se utilizó cromatografía de gases, la extracción se realizó por el método de extracción en éter, así, cerca de 100 ul de grasa se disolvieron en 900 ul de solución de

cloroformo metanol en relación 1:1, del producto se tomaron 20 ul y se mezclaron con 20 ul de reactivo de metil esterificación (base+metanol) y 160 ul de solución de cloroformo metanol en relación 1:1 del producto se tomó la muestra que se llevó a cromatografía, la temperatura de la columna fue de 130 °C y se llevó a 220 ° C a una velocidad de 3 °C/min, la temperatura del inyector y el detector fue de 220 °C. El flujo de gas de nitrógeno fue de 15 ml/min y se inyectó 3 ul de muestra. Los ácidos grasos fueron identificados por comparación con los tiempos de retención de ácidos grasos estándar (Della Casa *et al.*, 2009; Lammers *et al.*, 2008a) ajustándose al protocolo interno de CORPOICA IN-R-261.

3.2.4 Análisis económico

Para el análisis económico se analizaron presupuestos parciales, para ello se realizaron los siguientes cálculos:

$$C = (B/X) + c (Y_i)/X$$

Dónde:

C = Costo por kg de cerdo en pie en pesos

B = Costo del cerdo a los 20 kg de peso

X = Peso corporal del cerdo al finalizar el experimento

Y = Conversión de alimento

c = Costo del alimento al finalizar el experimento

i = Tratamiento experimental

$$I N P = [(P_y * Y_i) - (P_x * X_i)]/n$$

$$IPC = \{INP + [P_y (Y_i * R_i)]\}/n$$

Dónde: INP =Ingreso neto parcial por cerdo por grupo experimental

IPC = Ingreso parcial por cerdo en canal por grupo experimental

P_y= Precio de kg de cerdo en pie,

Y =Cantidad de cerdo en kg al finalizar el experimento

P_x =Precio acumulado ponderado del kg de alimento

X=Cantidad de alimento consumido al sacrificio

n=Número de cerdos al sacrificio /réplica

i= Tratamiento experimental

R=Rendimiento en canal, %

Los precios de las materias primas utilizados para el análisis económico se establecieron de acuerdo al mercado local en la sabana de Bogotá y fueron los precios de compra de las materias primas para el ensayo en pesos colombianos. El precio del cerdo en pie fue de 4458 \$/kg para el mercado de Bogotá en abril de 2011 (ACP, 2011). Las variables a analizar se resumen en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Variables analizadas en la prueba de desempeño

Desempeño	Canal	Carne	Económicas
Consumo	Peso Canal caliente	pH	Costo alimenticio por kg de PV
Ganancia	Rendimiento canal	Capacidad de retención de agua	Costo alimenticio por kg de carne magra
IC ¹	Grasa dorsal	Color	INP
	Área del <i>Longissimus dorsi</i>	Terneza	IPC
	Rendimiento carne magra	Perdidas por cocción Perfil de AG intramusculares	

¹IC=Índice de conversión alimenticia

3.2.5 Análisis estadístico

El efecto de la inclusión de glicerina cruda sobre la respuesta productiva de los cerdos y calidad de la canal se evaluó mediante un modelo mixto bajo un diseño de bloques completos al azar. La dieta experimental fue un efecto fijo y el bloque fue aleatorio. Los datos se analizan utilizando el procedimiento GLIMMIX de SAS (Ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC. 2009). Cuando se presentaron diferencias significativas se realizó la separación de medias utilizando la prueba de Tukey y se evaluó el efecto utilizando el polinomio lineal y cuadrático ($P < 0,05$) (Kaps y Lamberson, 2004).

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Parámetros productivos

Los resultados de la inclusión de glicerina cruda en dietas formuladas en un contexto comercial sobre el comportamiento durante un ciclo completo de producción se resumen en la tabla 3-4. De acuerdo a los resultados del presente estudio, el nivel de glicerina cruda en la dieta hasta un nivel del 10%, no afectó las características de desempeño ($P>0,05$).

Tabla 3-4: Desempeño productivo de cerdos alimentados con dietas con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Variable	Nivel de glicerina cruda (%) ¹			P ²	
	0	5	10	L	C
N	4	4	4		
Peso Inicial, kg	23,03±1,6	23,26±1,6	22,88±1,6		
Duración, d	91,5±2	91,5±2	91,5±2		
Peso Final, kg	100,52±2,2	102,45±2,2	98,75±2,2	0,523	0,257
Ganancia diaria de peso, kg/d	0,849±0,02	0,867±0,02	0,828±0,02	0,508	0,303
Consumo diario de alimento, kg/d	2,28±0,13	2,46±0,13	2,34±0,13	0,516	0,099
Conversión alimenticia	2,69±0,11	2,84±0,11	2,84±0,11	0,244	0,444
Desempeño de 20 a 30 kg de PV					
Ganancia diaria de peso, kg/d	0,713±0,06	0,803±0,06	0,796±0,06	0,370	0,544
Consumo diario de alimento, kg/d	1,19±0,06	1,39±0,06	1,29±0,06	0,287	0,077
Conversión alimenticia	1,68±0,12	1,76±0,12	1,66±0,12	0,894	0,568
Desempeño de 30 a 50 kg de PV					
Ganancia diaria de peso, kg/d	0,860±0,05	0,8723±0,05	0,891±0,05	0,609	0,952
Consumo diario de alimento, kg/d	1,95±0,05	2,06±0,05	2,03±0,05	0,283	0,284
Conversión alimenticia	2,27±0,1	2,38±0,1	2,29±0,1	0,852	0,270
Desempeño de 50 a 70 kg de PV					
Ganancia diaria de peso, kg/d	0,956±0,05	0,911±0,05	0,854±0,05	0,189	0,917
Consumo diario de alimento, kg/d	2,49±0,21	2,47±0,21	2,66±0,21	0,423	0,593
Conversión alimenticia	2,60±0,22	2,69±0,22	3,16±0,22	0,084	0,448
Desempeño de 70 a 100 kg de PV					
Ganancia diaria de peso, kg/d	0,822±0,06	0,895±0,06	0,779±0,06	0,561	0,167
Consumo diario de alimento, kg/d	2,73±0,07	3,13±0,07	2,76±0,07	0,771	0,002
Conversión alimenticia	3,33±0,2	3,56±0,2	3,58±0,2	0,363	0,669

¹Media±Error estándar

²P= Valor de P para el efecto lineal (L) y cuadrático (C)

A pesar que en comportamiento hasta el sacrificio no hubo efecto de la inclusión de glicerina cruda en la dieta, en el caso del consumo diario de alimento se observó una tendencia cuadrática ($P<0,1$) con el nivel de glicerina cruda en la dieta, indicando un incremento en el consumo alrededor del 5% de inclusión en la dieta y posteriormente al nivel del 10% un retorno a niveles cercanos a los del tratamiento testigo (0% de inclusión de glicerina cruda), esta tendencia se presentó también en la etapa de 20 a 30 kg de PV ($P<0,1$) y ya en la etapa de 70 a 100 kg se observó la relación cuadrática ($P<0,01$) sin embargo este aumento en el consumo estuvo explicado por aumentos en la ganancia de peso que se observaron como ausencias de diferencias en la conversión alimenticia en las etapas en las que se presentaron. Para el caso de la conversión alimenticia en la etapa de 50 a 70 kg de PV se observó una tendencia lineal ($P<0,1$) positiva mostrando un incremento en la conversión alimenticia en relación al incremento en el nivel de glicerina cruda en la dieta.

3.3.2 Parámetros de calidad de la canal

En la tabla 3-5 se muestran los parámetros de calidad de la canal evaluados en el presente trabajo. De acuerdo a las observaciones del presente ensayo el nivel de glicerina cruda en la dieta, hasta un nivel del 10%, no afectó las características de calidad de la canal analizadas ($P>0,05$).

Los resultados sobre el desempeño y la calidad de la canal son similares a los observados en los Estados Unidos donde el crecimiento de los animales, el consumo de alimento y la conversión alimenticia no se vieron afectados por los tratamientos. Además, la profundidad de la grasa en la décima costilla, el área del lomo y el porcentaje de carne magra tampoco se vieron afectadas por la inclusión de glicerina (Lammers *et al.*, 2008a).

En lechones se observó que la inclusión de glicerina cruda mejora la ganancia diaria promedio en forma lineal, sin afectar el consumo ni la conversión de alimento (Groesbeck *et al.*, 2008) efecto que no se observaron en este estudio. Los resultados presentados fueron similares a los obtenidos con 8% de glicerol en la dieta en cerdos en crecimiento (Schieck *et al.*, 2010b; Hansen *et al.*, 2009). En Brasil en un estudio similar se determinó una ligera reducción en la ganancia de peso corporal en las primeras etapas de

desarrollo de los cerdos de engorde; sin embargo, al sacrificio no fueron observadas diferencias significativas en el rendimiento de los animales. Las características de la canal no fueron afectadas por lo que se pudo recomendar la inclusión de glicerina cruda a 9% de la dieta (Berenchtein *et al.*, 2010) resultados similares a los obtenidos con 8% de glicerol en la dieta (Schieck *et al.*, 2010b).

Tabla 3-5: Características de calidad de la canal de cerdos alimentados con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Variable	Nivel de glicerina cruda (%) ¹			P ²	
	0	5	10	L	C
N	4	4	4		
Peso canal fría, kg	82±6,3	83±6,3	81,13±6,3	0,850	0,721
Rendimiento canal, %	82,2±1,7	83,5±1,7	83,05±1,7	0,492	0,426
Grasa dorsal, mm	14,5±1,3	15,1±1,3	13,4±1,3	0,553	0,466
Área del lomo, cm ²	49,93±4,6	56,27±4,6	47,3±4,6	0,672	0,186
Profundidad del lomo, mm	62,38±4,6	74,24±4,6	70,06±4,6	0,269	0,189
Rendimiento magro, %	43,87±2,5	45,5±2,5	45,48±2,5	0,377	0,593
Peso magro, kg	36±4,1	38,1±4,1	37,54±4,1	0,651	0,651

¹Media±Error estándar

²P= Valor de P para el efecto lineal (L) y cuadrático (C)

Resultados contrarios se observaron en cerdos de engorde hasta un mayor peso (46 a 160 kg), donde se observó que 5% de inclusión en la dieta no afectó el rendimiento de los animales, pero 10% redujo la ganancia de peso y afectó negativamente la conversión (Della Casa *et al.*, 2009), sin embargo, este comportamiento si se acerca a las observaciones del final del engorde (etapa de 50 a 70 kg de PV) cuando la conversión alimenticia mostró una tendencias a ser afectada negativamente al incrementar la inclusión glicerina cruda en la dieta. En un estudio más reciente con glicerina refinada (97% de glicerol) en cerdos, en la prueba de desempeño no se observó ningún efecto comparado con el control con inclusiones hasta del 15% de glicerina refinada en la dieta; igualmente, no se afectaron las características de la canal o la carne (Mendoza *et al.*, 2010).

3.3.3 Características de la carne

Los parámetros de calidad de la carne de cerdos alimentados con glicerina cruda, durante un ciclo completo de crecimiento se muestran en la tabla 3-6.

Los hallazgos del presente estudio muestran que la inclusión de glicerina cruda hasta un nivel del 10% no afectó la mayoría de las características de calidad de carne analizadas ($P>0,05$). Sin embargo, se observó un incremento ($P<0,04$) en las pérdidas por cocción y una tendencia a disminuir ($P<0,08$) el índice de amarillo (b^*) en el lomo con el aumento en el nivel de glicerina cruda en la dieta. Los resultados de calidad de la carne fueron similares a los observados en el estudio de engorde con cerdos pesados donde los tratamientos no afectaron a las características de la carne o la grasa del jamón. Las respuestas sensoriales no fueron muy consistentes para dar conclusiones como lo señala el estudio realizado por Della Casa et al. (2009). Las observaciones en la calidad de la carne y la evaluación sensorial fueron similares a las observadas con glicerina cruda derivada de aceite de soja, las cuales no se vieron afectadas por los tratamientos con inclusión de glicerina cruda. Pero, contrariamente el pH del lomo aumentó ($P = 0,06$) con la inclusión de glicerina cruda (Lammers et al., 2008a).

Tabla 3-6: Calidad de la carne de cerdos alimentados con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Variable	Nivel de glicerina cruda (%) ¹			P ²	
	0	5	10	L	C
N	4	4	4		
pH	5,5±0,07	5,5±0,07	5,4±0,07	0,474	0,696
Fuerza de corte, kg-f	4,9±0,8	6,01±0,8	5,9±0,8	0,279	0,226
CRA	6,9±1,1	5,68±1,1	6,53±1,1	0,803	0,433
Pérdidas por cocción, %	25,2±0,02	30,7±0,02	29,9±0,02	0,037	0,082
Color					
L*	55,84±1,9	51,77±1,9	52,2±1,9	0,220	0,365
a*	14,3±0,7	14,1±0,7	14,9±0,7	0,421	0,501
b*	7,0±0,497	6,8±0,503	6,6±0,497	0,076	0,968

¹Media±Error estándar

²P= Valor de P para el efecto lineal (L) y cuadrático (C)

El aumento en las pérdidas por cocción fue contrario a lo que previamente se había encontrado donde la inclusión de glicerina podría reducir pérdidas de agua de la canal y por cocción (Mourot *et al.*, 1994); sin embargo, en los estudios más recientes no se ha observado esta condición (Della Casa *et al.*, 2009; Lammers *et al.*, 2008a). Este aumento en las pérdidas por cocción se podría explicar por la hiperhidratación en los tejidos ocasionada por el aumento en el consumo de glicerol, resultado que se ajusta a lo observado en atletas (Coutts *et al.*, 2002). En el caso del color, no hubo un efecto de la inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre la luminosidad (L^*), el índice de rojo (a^*), y el índice de amarillo (b^*) resultado similar a estudios anteriores realizados por diferentes autores (Berenchtein *et al.*, 2010; Della Casa *et al.*, 2009; Hansen *et al.*, 2009; Lammers *et al.*, 2008b; Mendoza *et al.*, 2010; Schieck *et al.*, 2010b).

3.3.4 Perfil de ácidos grasos intramusculares

La composición de los ácidos grasos de la grasa intramuscular del lomo de cerdos alimentados con glicerina cruda, durante un ciclo completo de crecimiento se muestra en la tabla 3-7.

Tabla 3-7: Perfil de ácidos grasos de cadena larga en la grasa intramuscular del lomo de cerdos alimentados con diferentes niveles de glicerina cruda, durante un ciclo completo

Variable	Nivel de glicerina cruda (%) ¹			P ²	
	0	5	10	L	C
N	4	4	4		
Extracto etéreo, %	9,96±2,08	11,93±2,08	13,37±2,08	0,060	0,845
Ácidos grasos ³					
Mirístico; %	1,4±0,08	1,3±0,08	1,4±0,08	0,998	0,292
Palmítico; %	25,6±0,6	24,9±0,6	25,5±0,6	0,927	0,346
Esteárico; %	12,1±0,9	13,2±0,9	12,8±0,9	0,594	0,526
Oleico; %	48,8±0,9	49,6±0,9	50,2±0,9	0,222	0,978
Linoleico; %	7,9±0,7	7,3±0,6	5,9±0,6	0,090	0,657
Saturados; %	39,2±1,2	39,3±1,2	39,8±1,2	0,739	0,947
Insaturados; %	57,0±1,2	56,9±0,9	56,2±0,9	0,596	0,829
Ins/sat	1,53±0,07	1,47±0,06	1,42±0,06	0,242	0,969

¹Media±Error estándar

²P= Valor de P para el efecto lineal (L) y cuadrático (C)

³El contenido de ácidos grasos esta expresado en % de extracto etéreo.

En base a los hallazgos del presente estudio el contenido intramuscular de extracto etéreo del lomo mostró una tendencia lineal ($P>0,06$) a incrementar con la inclusión de glicerina cruda en la dieta. La inclusión de glicerina cruda en la dieta hasta un nivel del 10% no afectó la composición de los ácidos grasos de la grasa intramuscular del lomo ($P>0,05$). Sin embargo, debe llamarse la atención que con un nivel de probabilidad diferente al 1% o al 5%, se observó una tendencia lineal negativa ($P<0,09$) entre el nivel de glicerina cruda de la dieta y el contenido intramuscular de ácido linoleico, de tal manera que al aumentar el nivel de glicerina en la dieta, el contenido de linoleico disminuyó.

Para el caso de la composición de la grasa intramuscular del lomo los resultados fueron contrarios a los resultados reportados hasta el momento, ya que anteriormente se había observado que la inclusión de 10% de glicerina cruda reducía el contenido de ácido linoleico sobre la inclusión de 0 y 5% de glicerina cruda en la dieta. Este resultado sugiere una variación en el contenido de ácidos grasos de las dietas experimentales, donde se fueron reduciendo los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la dieta experimental al incluir la glicerina cruda en sustitución del maíz como la fuente de AGPI (Lammers *et al.*, 2008a).

Resultados contrastantes fueron obtenidos en el presente estudio en las cuales el nivel de ácido linoleico se mantuvo constante al variar los niveles de inclusión de aceite de palma y el frijol soya tostado. En Grecia al incluir en la dieta de lechones glicerina cruda (97% de glicerol) hasta el 15%, hubo un aumento lineal en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados y una reducción lineal en el contenido de los saturados (AGS), en la misma dirección la relación AGPI: AGS aumentó linealmente, lo cual es indicativo de que el glicerol se metaboliza a la síntesis de glucosa y no para la síntesis de ácidos grasos (Lippas *et al.*, 2010). Éstos resultados también se observaron en cerdas lactantes donde la inclusión de glicerina cruda aumentó el contenido de lactosa en la leche evidenciando un efecto gluconeogénico del glicerol (Schieck *et al.*, 2010a).

3.3.5 Análisis económico

De acuerdo a los resultados del presente estudio (Tabla 3-8), el nivel de glicerina cruda en la dieta hasta un 10%, no afectó las variables del análisis económico revisadas en el presente trabajo ($P>0,05$).

Tabla 3-8: Análisis económico de la inclusión de glicerina cruda en la dieta de cerdos en crecimiento, durante un ciclo completo

Variable	Nivel de glicerina cruda (%)			P ¹	
	0	5	10	L	C
N	4	4	4		
Costo alimenticio, \$/Kg					
PV	2494,8±96,2	2598,8±96,2	2553,8±96,2	0,591	0,440
INP, \$	254652±9790	250719±9790	247184±9790	0,645	0,988
IPC, \$	286003±22639	279279±22639	281294±22639	0,883	0,875
Costo magro, \$/kg	5389,4±577,7	5526,1±577,7	5489,3±577,7	0,858	0,858

¹Media± Error estándar

²P= Valor de P para el efecto lineal (L) y cuadrático (C)

Los resultados del análisis económico concuerdan con los de Carvalho *et al.* (2013), quien observó una reducción en el costo del alimento al aumentar la inclusión de glicerina cruda en la dieta, pero al revisar la rentabilidad económica de la inclusión los resultados no fueron tan claros y concluyeron que dependen de otras variables del mercado, entre las que resaltaron el costo del maíz y la torta de soya. La reducción en el costo del alimento al incluir glicerina cruda (Carvalho *et al.*, 2013), también es una de las justificaciones dadas en otros trabajos para la inclusión de glicerina cruda, pero sin que se haya revisado su impacto en los ingresos y en los costos alimenticios (Berenchtein *et al.*, 2010; Groesbeck *et al.*, 2008)

3.4 Conclusiones

La inclusión de glicerina cruda de palma en la dieta hasta un 10% no afecta las características de desempeño, calidad de la canal, y la mayoría de características de calidad de la carne de cerdos en crecimiento.

Las pérdidas por cocción del lomo aumentan con la inclusión de glicerina cruda en la dieta hasta un 10%.

La inclusión de glicerina cruda en la dieta hasta un 10% no afecta los costos alimenticios de producción de cerdos en crecimiento.

La inclusión de glicerina cruda en la dieta hasta un 10% no afecta la composición de los ácidos grasos de la grasa intramuscular del lomo de cerdos en crecimiento.

Bibliografía

ACP. 2011. Informe económico del sector porcicultor - abril de 2011. Porcicultura colombiana 153: 32-34.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Vol 1. Arlington. 1995 pp.

Beltran N, Castro J, Amador I. 1999. Establecimiento de bases técnicas para un sistema de clasificación de canales porcinas en Antioquia. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia en Bogotá.

Berenchtein B, Costa L, Braz D. 2010. Utilização de glicerol na dieta de suínos em crescimento e terminação. Revista Brasileira de Zootecnia 39 (7):1491-1496.

Carvalho PL, Moreira I, Scapinello C, Piano LM, Gallego A y Moresco G. 2013. Glicerina bruta na alimentação de suínos na fase de crescimento e terminação. Semina: Ciências Agrárias 34(3): 1399-1410.

Coutts, A., P. Reaburn, K. Mummery, and M. Holmes. 2002. The effect of glycerol hyperhydration on Olympic distance triathlon performance in high ambient temperatures. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 12:105–119.

Della Casa G, Bochicchio D, Faeti V, Marchetto G, Poletti E, Rossi A, Garavaldi A, Panciroli A, Brogna N. 2009. Use of pure glycerol in fattening heavy pigs. *Meat Science* 81 (1):238-244.

Groesbeck CN, McKinney LJ, DeRouchey JM, Tokach MD, Goodband RD, Dritz SS, Nelssen JL, Duttlinger AW, Fahrenholz AC, Behnke KC. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mill production and nursery pig growth performance. *Journal of animal science* 86 (9):2228-2236.

Hansen, CF, Hernandez A, Mullan, BP, Moore K, Trezona-Murray M, King RH, Pluske JR. 2009. A chemical analysis of samples of crude glycerol from the production of biodiesel in Australia and the effects of feeding crude glycerol to growing- finishing pigs on performance, plasma metabolites and meat quality at slaughter. *Animal Production Science* 49, 154– 161.

Kaps M, Lamberson W. 2004. *Biostatistics for animal science*. CABI.

Kerr B, Weber T, Dozier III W, Kidd M. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. *Journal of animal science* 87 (12):4042-4049..

Kijora C y Kupsch RD. 1996. Evaluation of technical glycerols from “Biodiesel” production as a feed component in fattening pigs. *Fett/Lipid* 98:240–245.

Lammers P, Kerr B, Weber T, Bregendahl K, Lonergan S, Prusa K, Ahn D, Stoffregen W, Dozier III W, Honeyman M. 2008a. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *Journal of animal science* 86 (11):2962-2970.

Lammers PJ, Kerr BJ, Weber TE, Dozier WA, III, Kidd MT, Bregendahl K, Honeyman MS. 2008b. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *Journal of animal science* 86 (3):602-608.

Lippas T, Papadomichelakis G, Zoidis E, Mountzouris KC, Fegeros K. 2010. Preliminary study on the effects of crude glycerol on the intramuscular fatty acid composition in growing pigs. In:production Eafa, editor. 61st annual meeting of the European association for animal production. Heraklion, Greece: Wageningen academic publishers. p. 483.

Mendoza OF, Ellis M, McKeith FK, Gaines AM. 2010. Metabolizable energy content of refined glycerin and its effects on growth performance, and carcass and pork quality characteristics of finishing pigs. *Journal of animal science* 88(12):3887-3895.

Mourot J, Aumaitre A, Mounier A, Peiniau P, François AC. 1994. Nutritional and physiological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on fatty tissues and post mortem muscular parameters. *Livestock Production Science* 38 (3):237-244.

NRC. 1998. Nutrient Requirements Of Swine. Nutrient requirements of domestic animals. 10 ed. Washington: National Academy of Sciences. p. 211.

Rostagno H, Albino L, Donzele J, Gomes P, de Oliveira R, Lopes D, Ferreira A, de Toledo Barreto S. 2005. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Rostagno H, Albino L, Donzele J, Gomes P, de Oliveira R, Lopes D, Ferreira A, de Toledo Barreto S, Euclides R. 2011. Composição de alimentos e exigencias nutricionais. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Schieck SJ, Kerr BJ, Baidoo SK, Shurson GC, Johnston LJ. 2010a. Use of crude glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. *Journal of animal Science* 88 (8):2648-2656.

Schieck SJ, Shurson GC, Kerr BJ, Johnston LJ. 2010b. Evaluation of glycerol, a biodiesel coproduct, in grow-finish pig diets to support growth and pork quality. *Journal of animal science*. 88 (12):3927-3935.

4. Discusión general

El valor de energía digestible de la glicerina cruda en cerdos en crecimiento se ha determinado en 3304,7 kcal/kg con un coeficiente de digestibilidad de la energía (CDE) de 90,3%, (Kovács *et al.*, 2011). Este valor de ED y del CDE es cercano al reportado en el presente trabajo determinado con la TBMN. Por el contrario, en otra investigación en cerdos en crecimiento el valor de ED se determinó en 3683 kcal/kg de MS (Lammers *et al.*, 2008b) valor similar al reportado en la tablas Brasileiras (Rostagno *et al.*, 2011) y al determinado en Colombia utilizando la TBMN (Mestra *et al.*, 2009) pero que son superiores a los observados en este trabajo. En lechones al evaluar diferentes fuentes de glicerina cruda (Kerr *et al.*, 2009) se determinó el valor de ED entre 4135 a 5454 Kcal/kg de MS, rango de valores que se encuentra por arriba del valor de ED determinado en la presente investigación.

Por el contrario el valor de energía digestible de la glicerina cruda observado en el ensayo por el MCI se encuentra cercano al valor determinado en lechones al evaluar diferentes fuentes de glicerina cruda (Kerr *et al.*, 2009), al valor observado en cerdos en crecimiento (Kovács *et al.*, 2011; Lammers *et al.*, 2008b), al reportado en la tablas Brasileiras (Rostagno *et al.*, 2011) y al valor energético determinado utilizando la TBMN (Mestra *et al.*, 2009). De acuerdo a estos resultados la glicerina cruda proveniente del aceite de palma presenta valores de ED cercanos a los del maíz (NRC, 1998; Rostagno *et al.*, 2011), lo que permitiría la sustitución de este cereal por glicerina cruda en la dieta de cerdos en crecimiento.

En cerdos de 11 kg de PV alimentados con dietas con glicerina se ha observado incremento en el contenido de energía de la orina (Lammers *et al.*, 2008b) lo que corresponde con el aumento en el contenido de energía de la orina observado en el ensayo por MCI que evidencia fallas en la metabolización de la glicerina.

En ganado bovino lechero el valor energético de la glicerina como ENI fue más bajo cuando la dieta tenía un nivel alto en almidón respecto a un nivel bajo de almidón (Schröder y Südekum, 1999). En el mismo sentido, en ratas, para el glicerol la reducción en la digestibilidad se da por una restricción en la absorción del glicerol, esto se observa cuando el mecanismo de absorción utiliza un transportador (Yuasa *et al.*, 2003), este sistema de absorción es más importante cuando el glicerol se encuentra en baja concentración (Ohta *et al.*, 2006) que es la forma en la que está en las dietas. El sistema de absorción del glicerol con transportador es acompañado por transporte pasivo el cual es insaturable (Kato *et al.*, 2004).

Otro factor que puede ocasionar la reducción en la digestibilidad del glicerol es el hecho que el transportador del glicerol en las células intestinales de la rata ha mostrado ser sodio dependiente (Kato *et al.*, 2005) igual que el transportador de la glucosa que consume dos iones por mol de glucosa (Kaunitz *et al.*, 1982) esto explicaría la reducción en la digestibilidad, en la absorción, de la glicerina cruda al aumentar el nivel de almidón en la dieta observado en el presente trabajo en el ensayo por el MCI. De acuerdo a la relación establecida entre el almidón y el glicerol al incluir glicerina cruda en la dieta se deben controlar los niveles de almidón.

En pollo de engorde se ha observado un incremento en la deposición de proteína con la inclusión de glicerina cruda en la dieta, lo que se explicó por una reducción de la acción de las enzimas fosfoenolpiruvato carboxiquinasa y glutamato deshidrogenasa evitando el uso de los aminoácidos como sustrato gluconeogénico (Cerrate *et al.*, 2006), por el contrario, en el ensayo por el MCI no se observó efecto de la inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre la retención de nitrógeno.

Los resultados con la TBMN y el MCI han mostrado correlación alta (Graham *et al.*, 1985; Cherian *et al.*, 1988; Viljoen *et al.*, 1997; Qiao y Thacker, 2004) similar a la correlación alta ($R^2=0,82$) encontrada en esta investigación. Por el contrario, en otra experiencia la digestibilidad de la energía de la cebada, del trigo, de la avena y del maíz fue más baja cuando se determinó con la TBMN que con el MCI (De Lange *et al.*, 1991). Similar a lo observado para algunos materiales evaluados, indicando que los resultados con la TBMN dependen de la naturaleza del material evaluado. Por análisis de regresión simple se

determinó un coeficiente de correlación de 0,925 entre los dos métodos (Sauer *et al.*, 1989). Según estos reportes, la TBMN no se comporta igual para todos los materiales y según la revisión de literatura realizada no se había evaluado en recursos líquidos como la glicerina cruda. De acuerdo a los presentes resultados, la TBMN es una herramienta para evaluar la disponibilidad de la energía de la glicerina cruda.

En los Estados Unidos donde se ha evaluado el efecto de dietas suplementadas con glicerina cruda en el rendimiento, características de la canal, calidad de la carne y la histología en cerdos en crecimiento. El crecimiento de los animales, el consumo y la conversión no se vieron afectados por los tratamientos. La profundidad de la grasa en la décima costilla, el área del lomo y porcentaje de carne magra no se vio afectada por la inclusión de glicerina (Lammers *et al.*, 2008a). En lechones se observó que la inclusión de glicerina cruda mejora la ganancia diaria promedio en forma lineal, sin afectar el consumo ni la conversión (Groesbeck *et al.*, 2008) resultados similares a los obtenidos con 8% de glicerol en la dieta (Schieck *et al.*, 2010b) y en cerdos en crecimiento (Hansen *et al.*, 2009). En Brasil se determinó una ligera reducción en la ganancia de peso en las primeras etapas de desarrollo de los cerdos de engorde, sin embargo, al sacrificio no fueron observadas diferencias significativas en el rendimiento de los animales. Las características de la canal no fueron afectadas por lo que se pudo recomendar la inclusión de glicerina cruda a 9% de la dieta (Berenchtein *et al.*, 2010) resultados similares a los obtenidos con 8% de glicerol en la dieta (Schieck *et al.*, 2010b). Los resultados en la prueba de desempeño realizada en la presente investigación se suman a los de los trabajos anteriores donde, en resumen, la glicerina cruda no afectó el desempeño de los animales. Sin embargo, se han encontrado resultados contrarios, como el caso en cerdos de engorde pesados (46 a 160 kg), donde se observó que 5% de inclusión en la dieta no afectó el rendimiento de los animales, pero el 10% redujo la ganancia de peso y afectó negativamente la conversión (Della Casa *et al.*, 2009). En un estudio más reciente se observaron valores de EM de 3584 kcal/kg de glicerina refinada en los cerdos y en la prueba de rendimiento no se observó efecto con inclusiones hasta 15% de glicerina refinada en la dieta como tampoco se observaron efectos en las características de canal o carne (Mendoza *et al.*, 2010).

En el trabajo de engorde pesado los tratamientos no afectaron las características de la carne o la grasa del jamón. En este trabajo las respuestas sensoriales a la carne no fueron muy consistentes para dar conclusiones (Della Casa *et al.*, 2009). Con glicerina cruda derivada de aceite de soja las observaciones en la calidad de la carne y la evaluación sensorial no se vieron afectadas por los tratamientos. Sin embargo, el pH del lomo aumentó ($P = 0,06$) con la inclusión de glicerina cruda. El tratamiento no afectó los metabolitos sanguíneos o la presentación de lesiones (Lammers *et al.*, 2008a). Estos resultados son acordes a los hallados en la presente investigación.

La inclusión de glicerina redujo las pérdidas de agua de la canal y por cocción en la carne (Mourot *et al.*, 1994), sin embargo, en los trabajos recientes no se ha observado esta condición (Della Casa *et al.*, 2009; Lammers *et al.*, 2008a). El incremento en las pérdidas por cocción de la carne observado en el presente trabajo es contrario a lo observado en los trabajos anteriores, este aumento en las pérdidas se explica por la hiperhidratación en los tejidos ocasionada por el aumento en el consumo de glicerol, resultado que se ajusta a lo observado en atletas (Coutts *et al.*, 2002). En el caso del color, no hubo efecto de la inclusión de glicerina cruda en la dieta sobre la luminosidad (L^*), el índice de rojo (a^*), y el índice de amarillo (b^*) resultado similar a los de estudios anteriores (Berenchtein *et al.*, 2010; Della Casa *et al.*, 2009; Hansen *et al.*, 2009; Lammers *et al.*, 2008b; Mendoza *et al.*, 2010; Schieck *et al.*, 2010).

Con la inclusión de 10% de glicerina cruda se había observado que se redujo el contenido de ácido linoleico en el músculo sobre la inclusión de 0 y 5% de glicerina cruda en la dieta, este resultado se explicó por una variación en el contenido de ácidos grasos de las dietas experimentales, donde se fueron reduciendo los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la dieta experimental al incluir la glicerina cruda en sustitución del maíz como la fuente de AGPI (Lammers *et al.*, 2008a). En el presente trabajo no se observó este resultado en la composición de la grasa intramuscular del lomo, las diferencias se pueden explicar por la composición de ácidos grasos de las dietas experimentales utilizadas en el presente estudio, en las cuales el nivel de ácido linoleico se mantuvo constante al variar los niveles de inclusión de aceite de palma y el frijol soya tostado. En Grecia al incluir en la dieta de lechones glicerina cruda (97% de glicerol) hasta el 15%, hubo un aumento lineal en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados y

una reducción lineal en el contenido de los saturados (AGS) con la inclusión de glicerina, en la misma dirección la relación AGPI: AGS aumentó linealmente, esta es también una indicación de que el glicerol metaboliza a la síntesis de glucosa y no para la síntesis de ácidos grasos (Lippas *et al.*, 2010). Éstos resultados también se observaron en cerdas lactantes donde la inclusión de glicerina aumentó el contenido de lactosa en la leche evidenciando un efecto gluconeogénico del glicerol (Schieck *et al.*, 2010a). Los resultados en la prueba de desempeño indican que la glicerina cruda proveniente del aceite de palma se puede incluir en la dieta de cerdos en crecimiento sin que, en general, se afecte el desempeño y las características de la canal de los cerdos; al controlar el contenido de ácidos grasos de la dieta, tampoco se afecta la calidad de la carne.

4.1 Bibliografía

Berenchtein B, Costa L, Braz D. 2010. Utilização de glicerol na dieta de suínos em crescimento e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39 (7):1491-1496.

Cerrate S; Yan F; Wang Z; Coto C; Sacakli P; Waldroup PW. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. *International Journal of Poultry Science, Faisalabad*, v. 5, n.11, p. 1001-1007.

Cherian G, Sauer W, Thacker P. 1988. Effect of predigestion factors on the apparent digestibility of protein for swine determined by the mobile nylon bag technique. *Journal of Animal Science* 66 (8):1963.

Coutts, A., P. Reaburn, K. Mummery, and M. Holmes. 2002. The effect of glycerol hyperhydration on Olympic distance triathlon performance in high ambient temperatures. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 12:105–119.

De Lange C, Sauer W, Den Hartog L, Huisman J. 1991. Methodological studies with the mobile nylon bag technique to determine protein and energy digestibilities in feedstuffs for pigs. *Livestock Production Science* 29 (2-3):213-225.

Della Casa G, Bochicchio D, Faeti V, Marchetto G, Poletti E, Rossi A, Garavaldi A, Panciroli A, Brogna N. 2009. Use of pure glycerol in fattening heavy pigs. *Meat Science* 81 (1):238-244.

Graham H, Åman P, Newman R, Walt Newman C, Walt newman C. 1985. Use of a nylon-bag technique for pig feed digestibility studies. *British Journal of Nutrition* 54 (03):719-726.

Groesbeck CN, McKinney LJ, DeRouchey JM, Tokach MD, Goodband RD, Dritz SS, Nelssen JL, Duttlinger AW, Fahrenholz AC, Behnke KC. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mill production and nursery pig growth performance. *Journal of animal science* 86(9):2228-2236.

Hansen, CF, Hernandez A, Mullan, BP, Moore K, Trezona-Murray M, King RH, Pluske JR. A chemical analysis of samples of crude glycerol from the production of biodiesel in Australia and the effects of feeding crude glycerol to growing- finishing pigs on performance, plasma metabolites and meat quality at slaughter. *Anim Prod Sci* 2009.49, 154– 161.

Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Yuasa H. 2004. Functional characterization of the carrier-mediated transport system for glycerol in everted sacs of the rat small intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 27 (11):1826-1830.

Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Yuasa H. 2005. Glycerol absorption by Na⁺-dependent carrier-mediated transport in the closed loop of the rat small intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 28 (3):553-555.

Kaunitz JD, Gunther R, Wright EM. 1982. Involvement of multiple sodium ions in intestinal D-glucose transport. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 79 (7):2315.

Kerr B, Weber T, Dozier III W, Kidd M. 2009. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. *Journal of animal science* 87(12):4042-4049..

Kovács, P; Zsédely, E; Kovács, A; Virág, G; Schmidt, J. Apparent digestible and metabolizable energy content of glycerol in feed of growing pigs. *Livest Sci* 2011; 142, 229 – 234

Lammers P, Kerr B, Weber T, Bregendahl K, Lonergan S, Prusa K, Ahn D, Stoffregen W, Dozier III W, Honeyman M. 2008a. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin-supplemented diets. *Journal of animal science* 86 (11):2962-2970.

Lammers PJ, Kerr BJ, Weber TE, Dozier WA, III, Kidd MT, Bregendahl K, Honeyman MS. 2008b. Digestible and metabolizable energy of crude glycerol for growing pigs. *Journal of animal science* 86 (3):602-608.

Lippas T, Papadomichelakis G, Zoidis E, Mountzouris KC, Fegeros K. 2010. Preliminary study on the effects of crude glycerol on the intramuscular fatty acid composition in growing pigs. In:production Eafa, editor. 61st annual meeting of the European association for animal production. Heraklion, Greece: Wageningen academic publishers. p. 483.

Mendoza OF, Ellis M, McKeith FK, Gaines AM. 2010. Metabolizable energy content of refined glycerin and its effects on growth performance, and carcass and pork quality characteristics of finishing pigs. *Journal of animal science*:jas.2010-2873.

Mestra L, Rodríguez D, Suárez AL, Avellaneda Y, Mejía G, Afanador G, Ariza C. 2009. Uso de la técnica de bolsa de nylon móvil para determinar la energía digestible de fuentes energéticas no convencionales en cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22 (3):507.

Mourot J, Aumaitre A, Mounier A, Peiniau P, François AC. 1994. Nutritional and physiological effects of dietary glycerol in the growing pig. Consequences on fatty tissues and post mortem muscular parameters. *Livestock Production Science* 38 (3):237-244.

NRC. 1998. Nutrient Requirements Of Swine. Nutrient requirements of domestic animals. 10 ed. Washington: National Academy of Sciences. p. 211.

Ohta K, Inoue K, Hayashi Y, Yuasa H. 2006. Carrier-mediated transport of glycerol in the perfused rat small intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 29 (4):785-789.

Qiao S, Thacker P. 2004. Use of the mobile nylon bag technique to determine the digestible energy content of traditional and non-traditional feeds for swine. *Archives of Animal Nutrition* 58 (4):287-294.

Rostagno H, Albino L, Donzele J, Gomes P, de Oliveira R, Lopes D, Ferreira A, de Toledo Barreto S. 2011. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Sauer W, Den Hartog L, Huisman J, Van Leeuwen P, De Lange C. 1989. The evaluation of the mobile nylon bag technique for determining the apparent protein digestibility in a wide variety of feedstuffs for pigs. *Journal of Animal Science* 67 (2):432.

Schieck SJ, Kerr BJ, Baidoo SK, Shurson GC, Johnston LJ. 2010a. Use of crude glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. *Journal of animal Science* 88 (8):2648-2656.

Schieck SJ, Shurson GC, Kerr BJ, Johnston LJ. 2010b. Evaluation of glycerol, a biodiesel coproduct, in grow-finish pig diets to support growth and pork quality. *Journal of animal science*. 88 (12):3927-3935.

Schröder A, Südekum. K-H. 1999. Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants. In: Salisbury NWaPA, editor. *New Horizons for an Old Crops Proceedings 10th International Rapeseed Congress*; Canberra, Australia.

Yuasa H, Hamamoto K, Dogu S, Marutani T, Nakajima A, Kato T, Hayashi Y, Inoue K, Watanabe J. 2003. Saturable absorption of glycerol in the rat intestine. *Biological & pharmaceutical bulletin* 26 (11):1633-1636.

Viljoen J, Ras M, Siebrits F, Hayes J. 1997. Use of the mobile nylon bag technique (MNBT) in combination with the ileo-rectal anastomosis technique (IRA) to determine amino acid digestibility in pigs. *Livestock Production Science* 51 (1-3):109-117.

5. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados del presente trabajo muestran que el contenido de ED de la glicerina cruda se reduce al aumentar la inclusión de almidón en la dieta (4427 vs 3769 Kcal/kg de MS) pero no se ve afectado el contenido de EM.

De acuerdo a la relación establecida entre el almidón y el glicerol al incluir glicerina cruda en la dieta se deben controlar los niveles de almidón. Sin embargo, se recomienda ampliar la superficie de evaluación de la inclusión de almidón con el fin de poder cuantificar de forma más precisa el efecto que tiene sobre el contenido de ED de la glicerina cruda.

La TBMN es una herramienta alternativa para evaluar rutinariamente la disponibilidad de la energía de la glicerina cruda, ya que sus resultados están altamente relacionados con los resultados por el MCI ($R^2=0,82$).

La inclusión de glicerina cruda proveniente de aceite de palma en el proceso de producción de biodiesel no afecta el desempeño, las características de la canal, ni la mayoría de características de calidad de la carne de los cerdos. Sin embargo, las pérdidas por cocción del lomo aumentan con la inclusión de glicerina cruda en la dieta.

Adicionalmente, al controlar el contenido de ácidos grasos de la dieta no se observó variación en el contenido de ácidos grasos del músculo, lo que sugiere la necesidad de mantener constante el contenido de ácidos grasos de la dieta cuando se incluye glicerina cruda en ella, para evitar de esta manera la modificación del perfil de ácidos grasos de la carne.

La inclusión de glicerina cruda proveniente del aceite de palma en la dieta no afectó los costos de producción de carne de cerdo.

